

鋼塊に起る偏析の研究 (V)

(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

第九章 角隅幽痕に関する諸現象

第六七節 鋼の凝固域に於ける脆弱

固態の鋼を昇温すれば漸次軟化する。1100°C よりは昇温するに従ひ緊張力は減じ、延伸率も亦減少す。^{※1}炭素鋼線の径 1.5 耗炭素含量 0.24% なるものにつき牽引試験を施したる結果は第三一表の如くにして、之より高温となるに従ひ益脆弱となる。

鑄型の湯路 (Runner) に填充せる鑄鋼は凝固域又は之に近き時期に於て甚脆弱にして容易に破折し得ることは能く知られたる事實なり。其の破面及び鑄鋼の吊り切れ破面には延伸せられたる状況を呈せざるが如きは此の程度に於ける高温鋼の延び少くして脆弱なるを示すものなり。昇温に依り飴の如く軟化し粘性と延伸の益々大なるべしと想像するは事實に反するものなり。即ち凝固域に於ける鋼は脆弱にして容易に破断せらるゝことは上來述べたる弛開の形状角隅幽痕の生成を導くものなり。

第六八節 角隅幽痕と銲接

鑄鋼の凝固域に於ける鋼晶の弛開せる隙間に母液浸入し、遂に固化したるものが角隅幽痕となりて顯はるゝものなるを以て、此の部分の機作は恰も高温に於ける鋼晶間を母液なる鑄鋼を以て銲接したると同様の結果となる。

第三一表

温度°C 材力	1140	1240	1310
延伸率%	17.2	11.2	9.2

元來銲接の効果は温度接面銲接材及び技巧に依りて良否定まるものなるが、此の場合に於て温度は充分高く、接面は新鮮にして缺點とする所なし。銲接材に相當する母液は一般に純ならず (第四八節) して燐硫黃等の偏析あるものなり。技巧に相當するものは裂隙填充の完否に在り、填充至らざるも

のは角隅内割れとして現はる。此の故に角隅に於ける組織状態と材力強度との關係は次の如き場合を生ず。

1. 柱晶層の衝會する所は柱晶層中材力最弱きを常とす。^{※3}
2. 柱晶層の裂開を起すも、母液の填充なきときは角隅内割れを生じ其の地離れせる部分の材力弱し。

※1 本多博士金屬の研究 1924. P178

※2 日本鐵鋼所研究室 1924

※3 Brearlev: Ingot & ingot mould, p. 24

3. 柱晶層の弛開に浸入する母液中の偏析物の多寡及び裂隙の大小に依りて材力異り。

第六九節 冷却の不平等と角隅幽痕の消長

同一鋼塊の全角隅に起らずして、若干角隅にのみ幽痕の生ずることあり。且つ角隅幽痕が鋼塊の縦横に於て或は短く、或は長く、狭きあり、廣きあり。其の位置は一定範囲内に於て内外上下に偏ることあり。此等は孰れも鋼塊外層が其の部分に依りて冷却速度を異にするに依るものなり。

冷却速度が角隅に依りて差等を有する場合には、鋼塊外層の歪にも差等を生じ角隅の内割れを誘ふ柱晶層の肉尙薄き時期に、急縮の歪に耐へずして内割れの起る場合に幽痕は浅く起點を生ず(第六三節)。引き續き起る歪みの大きさに應じ幽痕は深く内方に向ひ粒層に達するまでにて消失す(第六四節)。而して幽痕の幅の廣狭は歪の大小に應ずるものなり。

角隅幽痕は鋼塊外層の下胴に發育し、上胴に稀なるもの比較的多き傾きあり(第一三二節)。是れ下胴は上胴よりも冷却速かにして鑄鋼の内壓も亦大なればなり。

第七〇節 角隅幽痕の單條と複條

角隅幽痕は單條に現はるるを普通とすれども又複條なるものあり。第六八圖は八角 30 噸鋼塊 = ツケル鋼中胴横斷面の各角隅の硫貼寫にして、角隅 1・2・4・8 は單條の幽痕にしに其の他は複條なり。

1・3 には裂開伴へり。單條幽痕は柱晶層の接堺に起る單一なる弛開にして、上來記述せるもの之に屬し、此の種の幽痕は比較的幅廣きものあり。複條幽痕は柱晶層の生長方向に沿ひ相並びて、數條に現はるるものにして、此の種の幽線は比較的幅狭し。

幽線に單複あるは結晶間弱所の單複あると歪力集中域の廣狭に依る。角隅の鋭きものは凝固層の等凝結線の爲す角も鋭くして單條となる傾あり。

角隅の曲り緩かなるもの及び角隅より内方深く幽痕の起點を有するもの即ち等凝結線の曲り緩かなるものは複條幽痕を發生する傾あり。

幽痕の幅の廣狭は收縮の歪程度に應ずるものにして、弛開數條となれば、各條の弛開の幅も狭かるべきなり。材力の強度につきて單條のものは複條のものよりも弱しとの説あれども實際に於て幽線の單複に係らず鐵地の離るるものは言ふまでもなく材力弱し。裂間の填充せられたるものにつきては一般に單複の孰れか材力弱き特性を有するかを豫斷し難し。

第七一節 鋼塊の形狀と角隅幽痕

角隅鋼塊の角隅に幽痕を生ずるは、其の角隅が一生因たるものとせざるべからず。即ち鋼塊の外層に柱晶層の發達せるとき、其の接堺は角隅の鋭き程、單條幽痕現はれ易く、角隅の曲り緩なるに従ひ柱晶層の接堺は内方に入り遂に柱晶層を離るるに至れば複條の幽痕現はるる傾向を有す。八角 14 噸鋼塊に於て、横斷面の半徑と、角隅の曲率半徑との比が 0.1 なるものと 0.3 なるものとの二種の鋼塊につきて比較すべし。

さて此の程度の鋼塊に在りては、柱晶層の厚さ約 10. 糎なるを以て、横斷面半徑に對する、柱晶厚

さの比は 0.2 となる。即ち $0.1 < 0.2 < 0.3$ にして角隅丸み比 (第四三節) 0.1 なる鋼塊は単條幽痕を生じ易く、0.3 なる鋼塊は複條幽痕を生じ易き傾きを有せり (第四五節)。是れ角隅鋭きものは收縮の歪力一點に強く集中するに反し、角隅の丸味緩なるものは歪荷重の場面廣くして、各點に作用する歪力は小となるに依る。^{*}

乃ち角隅の丸みの緩なるものは、内割れに對し比較的對抗力を有するも高温凝固域に於ける結晶間の材力は甚脆弱なるが故に激しき内應力に堪へざるなり。

故に柱晶の生成を止むを得ざるものとし、其の衝會を避けんとして、單に角隅の丸みを緩和するも角隅幽痕を皆減し難き所以なり。斯くて角隅の數を増加するも、更に圓壘形と爲すも歪弛開の源因を根絶するにあらざれば、角隅幽痕の發生は遂に免るること能はざるものなり。

第七二節 柱層衝塚と幽痕の有無

鋼塊の柱晶層が角隅に於て材力脆弱なる界面をなすこと (第六六圖) は屢實地に見る所なり。斯かる結晶構成を有するものは、其の部分に起る收縮歪の程度と對抗力との均衡の狀況に依り、弛開を起生する場合と、然らざる場合と有り得べきなり。

實例として 17 噸鋼塊の角隅内割れせるものの直下に當る横斷破面の一隅 (第一〇三圖) を觀察したるに、柱層の衝會鮮明にして、内割れは堺線の中上部に位す。此の研磨面には裂疵及び幽線を認めざるのみならず、硫貼寫にも反應を呈せず (第七〇圖)。晶堺を檢鏡するに異状なかりき。

斯の如く角隅の内割れにも幽痕を伴はざることあり。柱晶層接堺にも幽痕を生ぜざることあり。

第七三節 鋼塊の化學組成と角隅幽痕

角隅幽痕は特殊の化學組成を有する鋼塊に起る特有の現象なりや否や。之を酸性平爐、鹽基性平爐製鋼に就き、又炭素鋼、ニッケル鋼、ニッケルクロム鋼の大鋼塊に就きて檢するに、孰れの鋼種に於ても角隅幽痕出現せり。特殊成分の含量に依り、其の出現の回數、程度に多少、強弱の差は有り得るも、角隅幽痕の發生は各種の鋼塊に共通の性質なること弛開説の示す所なり。

同一取鍋より分鑄して製作せる 15 噸級ニッケルクロム鋼八角形鋼塊の各鑄解毎に幽痕の有無を調べたり。

大正 13 年上半年鑄解 51 回に鑄成せる八角 15 噸鋼塊 162 箇の内角隅幽痕を有するもの 94 箇角隅幽痕無きもの 68 箇なり。此等鋼塊の化學組成は約 C 0.32~0.39, Si 0.18, Mn 0.48, P 0.020, S 0.026, Ni 3.5, Cr 5.5, Cu 0.14% にして、同一鑄解即ち同一取鍋内の鑄鋼は其の化學組成殆ど相等しきものと見做し得るものなり、而して同形同大の鋼塊にても幽痕の發生する場合と然らざる場合とあること第三二表の如し。

第七四節 鋼塊の大きさと角隅幽痕

角隅幽痕は大鋼塊に發生すれども、小鋼塊には通常其の發生を見ることなし。著者は小鋼塊 (第四

※ Preuss: Stahl und Eisen. 1912 S. 1495

第一〇三圖



x0.55

七節)に就き凝固速度を種々に變じて試みたれども角隅幽痕を得ること能はざりき是れ大鋼塊に在りては集積する收縮歪の總量大なればなり。15噸 = ツケルクローム鋼塊の胴部横斷面にて中心より等距離に於ける角隅幽痕の各條の幅を顯微鏡にて測り之を一鋼塊毎に合計したるものを角隅内割れの總開きと見做し計測せる部分を通過する周縁に對する總開きの比を求め、17箇の鋼塊に就きて調べたる結果 0.00034 乃至 0.00288 平均 0.00121 なる値を得たり。

此の計測に依れば横斷面の徑 1 米の鋼塊に在りては 3.8 耗に相當す。鋼塊外層の凝固域に於ける此の程度の開きは容易に行はるべし。

鋼塊の横斷面の徑 10 徑の鋼塊が同一程度の歪を受け之が一點に集中して裂開するとせば其の開きは 0.38 耗にして四角塊に在りては各角隅の内割

れは其の幅僅に 0.09 耗に過ぎず。

凝固域に於ける此の微小なる裂開は殆ど無視すべき程度のものにして、特に此の部分に偏析物の侵入することありとするも識別し難き程度のものたるべし。加之小鋼塊に在りては凝固層速に肉の厚さを増し、堅剛となり、且つ冷却速度の部分的差等著しからざるが故に收縮歪による内割れの傾向も小なり。

第三二表

一熔解鋼より鑄成せる鋼塊數	3	3	3	3	4	4	4	4	4
同上の内角隅幽痕無き鋼塊數	0	1	2	3	0	1	2	3	4
同角隅幽痕有る鋼塊數	3	2	1	0	4	3	2	1	0
起生の回數	20	7	4	11	2	1	1	3	2

第九章 の 括 約

1. 鋼塊角隅幽痕に關する諸現象は弛開説の見地より、悉く明瞭に解説せられたり。

第一〇章 鋼塊の歪變形の測定

角隅幽痕の生因は凝固域に於ける歪割れにして、其の力源は主として熱的作用に依れる鋼殼の收縮度に存し其の他種々の副因之を助成することにつきて既に詳説したり (第八章)。

鑄成鋼塊は鑄型に對し全く相似形なりや、或は形狀に歪變形殘存せりや否やに就きて檢すれば具體的に弛開説の正否を確め得べし。本章に於ては實測の結果を記し以て其の確證となさんとす。

第七五節 鋼塊收縮率の實測

鐵鑄型の内徑と其の鑄型にて鑄成したる鋼塊の寸法とを共に常溫に於けるものにつきて實測し兩者相應する部分の數値を對比したり。第三三表は測定せる鑄型及び鋼塊の數量表なり。第三四表は鑄型の内徑寸法にして肩中胴及び底の三箇所に於ける横斷直徑なり。又肩と中胴、中胴と底との間につきても測定したり。凝固後常溫に於ける鋼塊は鑄型よりも小なれども鋼塊の肩底は鑄型の上下端に相應するものとし、又鋼塊高さの $1/4, 2/4, 3/4$ は夫々鑄型の $1/4, 2/4, 3/4$ の點に應ずるものとし何れも角隅を過ぎる直徑即ち長徑と、腹壁中央を過ぎる直徑即ち短徑とにつきて測定したり。

第三五表は上記鑄型實測點に相當する鋼塊の實測寸法を鑄型の寸法に對比し。線收縮率として掲げたるものなり。茲に收縮と稱するは鑄流溫度より凝固點に至るまでの液の收縮凝固の際の容積變化凝固點より常溫に至るまでの收縮の總和にして、以下之を鑄造の收縮と稱すべし。

鋼塊の寸法測定には鋼製尺度、金屬製卷尺、及び大なるキャリパーを用ひたり、鐵鑄型の内壁は比較的平滑なれども、鋼塊の鑄肌は著しく粗糙なるものありて、精値を得難きものあり、然れども收縮の數値比較的大なるに依り、收縮の程度を窺はんとするには其の正鵠を失することなかるべし。表中角隅番號の上に×印を附したるものは該角隅に角隅幽痕を生じたるものにして、○印を附したるものは、角隅幽痕を生ぜざる角隅なり。

第三六表は第三五表に於ける、各平均値のみを集約したるものにして、第三七表は、第三六表より更に腹壁と角隅とに於ける收縮率の比を計出したるものなり。

第三三表
鑄型及び鋼塊の測定箇數

鑄型の大きさ (噸)	鑄型番號	測定鋼塊數
14	無 號	1
15	力 22	1
"	力 5	2
"	力 22	2
"	力 27	1
"	力 29	4
16	力 82	1
"	力 83	1
"	力 112	2
30	力 24	2
計	10	18

第三四表 1.

鑄型の内徑						
鑄型番號	無號	鋼塊重量(噸)				14
形狀	八角鑄	(高さ底より肩迄)糧				265.0
角隅番號	1-5	2-6	3-7	4-8	平均	
胴上端糧	角隅	99.8	99.4	99.7	99.7	99.7
	腹壁	90.8	91.1	91.0	91.0	91.0
胴中央糧	角隅	93.6	93.2	93.4	93.6	93.5
	腹壁	84.4	84.3	84.7	84.9	84.6
胴下端糧	角隅	87.1	86.9	87.1	87.1	87.1
	腹壁	78.8	78.5	78.7	78.7	87.7

第三四表 2.

鑄型の内徑						
鑄型番號	力 23	鋼塊重量噸				15
形狀	八角鑄	(高さ底より肩迄)糧				312.0
角隅番號	1-5	2-6	3-7	4-8	平均	
胴上端糧	角隅	102.1	102.4	102.1	102.1	102.2
	腹壁	93.1	93.1	93.1	93.0	93.1
胴中央糧	角隅	94.8	94.6	94.0	94.1	94.4
	腹壁	85.2	85.0	84.6	84.9	84.4
胴下端糧	角隅	87.4	87.4	87.4	87.5	87.4
	腹壁	78.8	78.8	78.8	78.8	78.8

第三四表 3.

鑄型の内徑						
鑄型番號	力 5	鋼塊重量噸				15
形狀	八角鑄	(高さ底より肩迄)糧				313.8
角隅番號	1-5	2-6	3-7	4-8	平均	
胴上端糧	角隅	102.5	102.3	102.1	102.5	102.5
	腹壁	93.3	93.8	93.8	93.6	93.8
胴中央糧	角隅	96.1	95.9	96.2	95.8	96.0
	腹壁	86.2	86.9	86.6	86.2	86.5
胴下端糧	角隅	87.0	87.1	86.7	86.3	86.3
	腹壁	78.7	78.6	77.8	77.7	78.2

第三四表 4.

鑄型の内徑						
鑄型番號	力 22	鋼塊重量噸				15
形狀	八角鑄	(高さ底より肩迄)糧				312.0
角隅番號	1-5	2-6	3-7	4-8	平均	
胴上端糧	角隅	102.3	102.7	102.8	103.0	102.7
	腹壁	93.6	93.9	94.1	93.6	93.8
$\frac{3}{4}$ 胴糧	角隅	99.7	99.6	99.4	99.8	99.6
	腹壁	90.3	90.0	90.0	90.0	90.1
胴中央糧	角隅	95.8	96.0	95.5	96.1	95.9
	腹壁	86.3	86.3	86.2	86.1	86.2
$\frac{1}{4}$ 胴糧	角隅	91.5	92.0	91.0	91.8	91.8
	腹壁	82.5	82.5	82.0	81.9	82.2
胴下端糧	角隅	86.8	87.2	86.9	87.0	87.0
	腹壁	78.4	78.1	78.1	78.2	78.2

第三四表 5.

鑄型の内徑						
鑄型番號	力 27	鋼塊重量				15
形狀	八角鑄	(高さ底より肩迄)糧				311.7
角隅番號	1-5	2-6	3-7	4-8	平均	
胴上端糧	角隅	102.7	102.7	102.6	102.7	102.7
	腹壁	93.8	93.8	93.7	93.7	93.8
$\frac{3}{4}$ 胴糧	角隅	99.7	99.7	99.7	99.7	99.7
	腹壁	90.0	90.5	89.9	90.0	90.1
胴中央糧	角隅	95.9	95.8	95.8	95.8	95.8
	腹壁	85.9	86.2	86.0	86.0	86.0
$\frac{1}{4}$ 胴糧	角隅	91.5	91.6	91.7	91.6	91.6
	腹壁	81.8	82.1	82.5	82.4	82.2
胴下端糧	角隅	87.1	87.4	87.3	87.4	87.3
	腹壁	78.5	78.8	78.3	78.6	78.6

第三四表 6.

鑄型の内徑						
鑄型番號	力 29	鋼塊重量噸			15	
形 狀	八角鑄	高さ (底より肩迄) 糧			311.5	
角隅番號	1-5	2-6	3-7	4-8	平均	
洞上端糧	角隅	102.2	102.4	102.2	101.8	102.1
	腹壁	93.8	93.8	92.9	93.6	93.5
$\frac{3}{4}$ 洞 糧	角隅	99.1	99.3	99.3	98.9	99.2
	腹壁	89.8	90.2	89.7	89.5	89.8
洞中央糧	角隅	95.1	95.1	95.2	95.2	95.2
	腹壁	85.5	86.0	85.9	85.6	85.7
$\frac{1}{4}$ 洞 糧	角隅	91.1	91.0	91.4	91.7	91.3
	腹壁	81.5	81.8	82.5	82.1	81.9
洞下端糧	角隅	87.2	86.7	86.9	87.4	87.0
	腹壁	78.3	78.0	78.5	78.8	78.4

第三四表 7.

鑄型の内徑						
鑄型番號	力 82	鋼塊重量噸			16	
形 狀	毘社形八角鑄	高さ (底より肩迄) 糧			277.2	
角隅番號	1-5	2-6	3-7	4-8	平均	
洞上端糧	角隅	122.6	121.9	121.9	122.8	122.3
	腹壁	103.6	103.6	103.7	104.4	103.9
洞中央糧	角隅	105.8	105.4	105.3	105.9	105.6
	腹壁	89.0	88.8	80.8	89.2	89.0
洞下端糧	角隅	88.9	88.5	88.5	88.5	88.6
	腹壁	74.8	74.4	74.3	74.4	74.5

第三四表 8.

鑄型の内徑						
鑄型番號	力 83	鋼塊重量噸			16	
形 狀	八角鑄	高さ (底より肩迄) 糧			276.7	
角隅番號	1-5	2-6	3-7	4-8	平均	
洞上端糧	角隅	121.8	122.7	123.7	122.5	122.7
	腹壁	103.8	104.5	104.6	103.8	104.2
$\frac{3}{4}$ 洞 糧	角隅	113.7	114.5	115.4	114.3	114.5
	腹壁	96.4	97.1	97.0	96.2	96.7
洞中央糧	角隅	105.2	105.8	106.5	105.9	105.8
	腹壁	88.9	89.7	89.7	89.5	89.5
$\frac{1}{4}$ 洞 糧	角隅	96.5	97.1	98.2	97.2	97.2
	腹壁	81.5	82.1	82.7	81.8	82.0
洞下端糧	角隅	87.8	88.4	89.2	88.6	88.5
	腹壁	74.2	74.9	75.0	74.7	74.7

第三四表 9.

鑄型の内徑						
鑄型番號	力 112	鋼塊重量噸			16	
形 狀	八角鑄	高さ (底より肩迄) 糧			273.0	
角隅番號	1-5	2-6	3-7	4-8	平均	
洞上端糧	角隅	113.6	113.5	113.8	114.0	113.7
	腹壁	96.5	96.8	97.3	97.3	97.0
$\frac{3}{4}$ 洞 糧	角隅	109.6	110.0	110.1	110.1	110.0
	腹壁	93.2	93.3	93.1	93.2	93.2
洞中央糧	角隅	105.3	106.2	106.2	106.0	105.9
	腹壁	89.7	90.0	89.3	89.7	89.7
$\frac{1}{4}$ 洞 糧	角隅	101.4	102.2	102.2	101.7	101.8
	腹壁	86.1	86.7	85.8	85.8	86.1
洞下端糧	角隅	97.5	98.0	97.1	97.5	97.5
	腹壁	83.3	83.7	83.2	83.2	83.4

第三四表 10.

鑄形の内徑

鑄型番號	力 24	銅塊重量噸	30		
形 狀	八角鑄	高さ	808.0		
		(底より肩迄)			
角隅番號	1-5	2-6	3-7	4-8	平均
洞上端粗	角隅	129.6	129.2	129.2	129.3
	腹壁	118.4	118.1	118.1	118.5
洞中央粗	角隅	119.1	118.5	117.6	118.8
	腹壁	108.9	107.9	108.0	109.2
洞下端粗	角隅	108.1	107.5	107.1	107.6
	腹壁	98.8	98.4	98.2	98.9

第三五表 1.

銅塊の收縮

鑄型番號	無 號	重量噸	14		
銅塊番號	14108 $\frac{2}{3}$	材 質	炭素鋼 B ₃		
形 狀	八角鑄	高さ縮み%	1.51		
角隅番號	○ 1-5	○ 2-6	○ 3-7	○ 4-8	平均
洞上端%	角隅	2.62	3.11	3.11	2.71
	腹壁	2.63	1.98	1.98	2.09
洞中央%	角隅	2.63	2.89	2.78	2.78
	腹壁	1.42	1.51	1.53	1.30
洞下端%	角隅	4.03	3.90	3.67	3.67
	腹壁	3.61	3.56	3.68	5.08

第三五表 2.

銅塊の收縮

鑄型番號	力 23	重量噸	15		
銅塊番號	14118 $\frac{2}{3}$	材 質	Ni-Cr鋼		
形 狀	八角鑄	高さ縮み%	1.60		
角隅番號	$\times \times$ 1-5	$\times \times$ 2-6	$\times \times$ 3-7	$\times \times$ 4-8	平均
洞上端%	角隅	2.35	2.64	2.74	2.16
	腹壁	2.15	2.26	2.04	1.83
洞中央%	角隅	2.43	2.75	2.75	2.54
	腹壁	1.65	1.53	1.42	1.41
洞下端%	角隅	3.21	2.97	2.86	3.09
	腹壁	3.17	2.79	2.41	3.17

第三五表 3.

銅塊の收縮

鑄型番號	力 5	重量噸	15		
銅塊番號	145 $\frac{1}{3}$	材 質	Ni-Cr鋼		
形 狀	八角鑄	高さ縮み%	2.33		
角隅番號	$\times \times$ 1-5	$\times \times$ 2-6	$\times \times$ 3-7	$\times \times$ 4-3	平均
洞上端%	角隅	2.83	2.61	3.21	2.44
	腹壁	2.99	3.31	2.56	2.24
洞中央%	角隅	2.91	2.30	2.91	2.30
	腹壁	1.86	2.30	1.62	1.39
洞下端%	角隅	3.91	3.45	2.54	2.55
	腹壁	3.68	3.05	2.57	2.57

第三五表 4.

銅塊の收縮

鑄型番號	力 5	重量噸	15		
銅塊番號	149 $\frac{1}{4}$	材 質	Ni-Cr鋼		
形 狀	八角鑄	高さ縮み%	2.37		
角隅番號	$\times \times$ 1-5	$\times \times$ 2-6	$\times \times$ 3-7	$\times \times$ 4-8	平均
洞上端%	角隅	2.83	2.61	3.61	2.83
	腹壁	3.09	3.20	2.77	2.67
洞中央%	角隅	3.02	2.61	3.22	2.40
	腹壁	1.74	2.53	1.73	2.78
洞中端%	角隅	4.14	3.56	2.88	2.78
	腹壁	4.07	3.18	2.19	3.34

第三五表 5.

銅塊の收縮

鑄型番號	力 27	重量噸	15		
銅塊番號	14176 $\frac{2}{4}$	材 質	Ni-Cr鋼		
形 狀	八角鑄	高さ縮み%	2.31		
角隅番號	$\circ \times$ 1-5	$\times \circ$ 2-6	$\times \circ$ 3-7	$\circ \circ$ 4-8	平均
洞上端%	角隅	3.51	3.61	3.42	3.51
	腹壁	3.09	2.84	3.20	3.31
$\frac{3}{4}$ 洞 %	角隅	3.61	3.41	3.81	3.31
	腹壁	2.11	3.09	2.67	2.44
洞中央%	角隅	3.55	3.65	3.34	3.34
	腹壁	2.44	2.21	2.33	2.44
$\frac{1}{4}$ 洞 %	角隅	2.35	2.95	3.05	2.69
	腹壁	2.08	1.83	3.27	2.67
洞下端%	角隅	3.90	2.89	3.78	3.89
	腹壁	3.57	3.81	3.95	4.96

第三五表 6.

鋼塊收縮						
鑄型番號	力 27	重量噸	15			
鋼塊番號	14207 $\frac{3}{8}$	材 質	Ni-Cr鋼			
形 狀	八角塊	高さ縮み%	2.695			
角隅番號	$\begin{matrix} \times & \times \\ 1-5 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times & \times \\ 2-6 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times & \times \\ 3-7 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times & \times \\ 4-8 \end{matrix}$	平均	
胴上端%	角隅	2.32	2.83	2.83	2.93	2.95
	腹壁	2.99	2.99	2.46	2.78	2.80
$\frac{3}{4}$ 胴 %	角隅	3.11	2.71	2.71	2.71	2.81
	腹壁	2.22	2.93	1.67	2.67	2.39
胴中央%	角隅	3.65	3.03	3.03	3.34	3.26
	腹壁	1.75	2.85	2.21	2.33	2.28
$\frac{1}{4}$ 隅 %	角隅	3.66	3.17	3.27	3.17	3.17
	腹壁	1.59	3.05	3.03	2.19	2.46
胴下端%	角隅	2.99	3.55	3.44	3.43	3.35
	腹壁	4.46	3.81	3.31	3.44	3.75

第三五表 8.

鋼塊收縮						
鑄型番號	力 22	重量噸	15			
鋼塊番號	14170 $\frac{1}{4}$	材 質	Ni-Cr鋼			
形 狀	八角塊	高さ縮み%	1.73			
角隅番號	$\begin{matrix} \times & \times \\ 1-5 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times & \times \\ 2-6 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times & \times \\ 3-7 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times & \times \\ 4-8 \end{matrix}$	平均	
胴上端%	角隅	3.13	3.21	2.73	2.91	3.00
	腹壁	3.53	3.41	2.87	2.78	3.15
$\frac{3}{4}$ 胴 %	角隅	3.11	3.01	3.12	3.81	3.01
	腹壁	2.44	2.67	2.67	2.44	2.55
胴中央%	角隅	3.24	3.13	2.93	3.02	3.08
	腹壁	2.43	2.32	2.67	2.09	2.38
$\frac{1}{4}$ 胴 %	角隅	3.17	2.83	2.94	3.05	2.00
	腹壁	2.30	2.06	2.20	2.44	2.25
胴下端%	角隅	3.46	2.67	3.22	3.33	3.42
	腹壁	4.34	3.46	3.46	3.33	3.64

第三五表 7.

鋼塊收縮						
鑄型番號	力 22	重量噸	15			
鋼塊番號	14167 $\frac{1}{4}$	材 質	Ni-Cr鋼			
形 狀	八角塊	高さ縮み%	2.08			
角隅番號	$\begin{matrix} \times & \times \\ 1-5 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times & \times \\ 2-6 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times & \times \\ 3-7 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times & \times \\ 4-8 \end{matrix}$	平均	
胴上端%	角隅	3.32	3.02	3.02	3.11	3.12
	腹壁	4.17	3.30	2.87	2.99	3.33
$\frac{3}{4}$ 胴 %	角隅	3.01	3.21	3.02	2.71	2.99
	腹壁	2.33	2.11	2.00	2.11	2.14
胴中央%	角隅	3.03	3.02	2.93	3.02	3.00
	腹壁	2.20	2.32	2.44	1.97	2.23
$\frac{1}{4}$ 胴 %	角隅	2.95	3.04	2.73	2.94	2.92
	腹壁	2.42	1.82	1.95	2.08	2.07
胴下端%	角隅	3.33	2.75	3.34	3.45	3.22
	腹壁	4.72	2.91	3.33	3.58	3.64

第三五表 9.

鋼塊收縮						
鑄型番號	力 29	重量噸	15			
鋼塊番號	14218 $\frac{3}{8}$	材 質	Ni-Cr鋼			
形 狀	八角塊	高さ縮み%	2.25			
角隅番號	$\begin{matrix} \circ & \circ \\ 1-5 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \circ & \circ \\ 2-6 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \circ & \circ \\ 3-7 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \circ & \circ \\ 4-8 \end{matrix}$	平均	
胴上端%	角隅	2.84	3.03	2.84	2.95	2.91
	腹壁	2.88	3.31	2.69	2.89	2.91
$\frac{3}{4}$ 胴 %	角隅	3.03	3.02	3.02	3.03	3.03
	腹壁	2.45	2.55	2.31	2.46	2.45
胴中央%	角隅	3.26	3.15	3.26	3.26	3.23
	腹壁	2.81	2.56	2.33	2.69	2.59
$\frac{1}{4}$ 胴 %	角隅	3.18	3.08	3.28	3.27	3.20
	腹壁	2.53	2.57	2.55	2.80	2.62
胴下端%	角隅	3.78	3.46	3.68	3.43	3.59
	腹壁	3.45	3.46	3.44	3.55	3.48

第三五表 10.

銅塊收縮						
鑄型番號	力 82	重量噸		16		
銅塊番號	14165 $\frac{1}{4}$	材 質		Ni-Cr 銅		
形 狀	八角鑄	高さ縮み%		2.60		
角隅番號	$\begin{matrix} \circ & \times \\ 1-5 & 2-2 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \circ & \times \\ 3-7 & 4-8 \end{matrix}$	平均			
洞上端%	角隅	3.18	2.81	2.87	4.23	3.27
	腹壁	2.89	2.41	3.52	4.21	3.26
洞中央%	角隅	3.12	2.09	2.18	3.68	2.77
	腹壁	1.46	1.13	1.57	2.47	1.66
洞下端%	角隅	3.82	2.49	3.16	3.05	3.13
	腹壁	3.48	2.15	3.38	3.49	3.13

第三五表 11.

銅塊收縮						
鑄型番號	力 112	重量噸		16		
銅塊番號	1518 $\frac{2}{3}$	材 質		Ni-Cr 銅		
形 狀	八角鑄	高さ縮み%		2.27		
角隅番號	$\begin{matrix} \times & \times \\ 1-5 & 2-6 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times & \times \\ 3-7 & 4-8 \end{matrix}$	平均			
洞上端%	角隅	2.82	2.64	2.90	3.07	2.86
	腹壁	2.59	2.48	2.98	2.67	2.63
$\frac{3}{4}$ 洞%	角隅	2.19	2.82	2.53	2.34	2.47
	腹壁	2.14	2.15	2.43	2.29	2.25
洞中央%	角隅	1.71	2.92	2.99	2.55	2.54
	腹壁	1.78	2.89	1.34	1.23	1.81
$\frac{3}{4}$ 洞%	角隅	1.87	3.03	2.75	2.85	2.63
	腹壁	1.74	3.12	1.75	1.40	2.00
洞下端%	角隅	3.18	3.78	3.19	3.79	3.49
	腹壁	4.68	4.18	3.85	3.73	3.96

第三五表 12.

銅塊收縮						
鑄型番號	力 112	重量噸		16		
銅塊番號	1516 $\frac{1}{3}$	材 質		Ni-Cr 銅		
形 狀	八角鑄	高さ縮み%		2.20		
角隅番號	$\begin{matrix} \times & \times \\ 1-5 & 2-6 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times & \times \\ 3-7 & 4-8 \end{matrix}$	平均			
洞上端%	角隅	2.99	2.64	2.81	4.42	3.22
	腹壁	2.59	2.93	3.39	4.42	3.3
$\frac{3}{4}$ 洞%	角隅	2.37	2.64	2.70	3.15	2.72
	腹壁	2.25	2.14	1.93	2.47	2.20
洞中央%	角隅	1.71	2.54	2.93	2.83	2.50
	腹壁	1.67	2.67	1.79	3.01	2.29
$\frac{1}{4}$ 洞%	角隅	1.87	2.64	3.14	3.15	2.70
	腹壁	1.39	2.31	2.10	1.98	1.95
洞下端%	角隅	3.28	3.78	2.83	3.29	3.31
	腹壁	4.20	4.42	4.84	3.61	4.27

第三五表 13.

銅塊收縮						
鑄型番號	力 82	重量噸		16		
銅塊番號	1495 $\frac{1}{3}$	材 質		Ni-Cr 銅		
形 狀	八角鑄	高さ縮み%		2.24		
角隅番號	$\begin{matrix} \times & \times \\ 1-5 & 2-6 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \times & \times \\ 3-7 & 4-8 \end{matrix}$	平均			
洞上端%	角隅	3.18	3.04	2.87	2.77	2.97
	腹壁	3.47	3.47	—	3.16	2.53
$\frac{3}{4}$ 洞%	角隅	2.83	2.81	2.63	2.70	2.44
	腹壁	2.28	2.49	2.78	2.17	2.43
洞中央%	角隅	2.93	2.75	2.94	2.83	2.86
	腹壁	1.57	1.80	2.02	2.13	1.88
$\frac{1}{4}$ 洞%	角隅	3.19	3.00	3.11	3.82	3.28
	腹壁	2.30	1.97	2.22	2.21	2.18
洞下端%	角隅	3.38	3.62	3.39	3.27	3.42
	腹壁	3.74	3.36	2.96	3.63	3.42

第三五表 14

鋼塊收縮

鑄型番號	力 82	重 量 噸	16			
鋼塊番號	14105 $\frac{1}{3}$	材 質	Ni-Cr鋼			
形 狀	八角鑄	高さ縮み%	2.06			
角隅番號	1-5	2-6	3-7	4-8	平均	
胴上端%	角隅	2.45	2.38	2.38	3.42	2.66
	腹壁	2.51	2.22	2.32	3.26	2.58
$\frac{3}{4}$ 胴 %	角隅	2.83	2.46	2.81	3.31	2.85
	腹壁	1.56	2.44	2.99	2.48	2.35
胴中央%	角隅	2.84	2.18	2.47	3.40	2.72
	腹壁	1.91	1.91	1.78	2.47	2.02
$\frac{1}{4}$ 胴 %	角隅	3.08	2.38	2.70	3.30	2.87
	腹壁	2.51	1.97	1.85	2.21	2.14
胴下端%	角隅	3.82	3.05	3.05	4.29	3.56
	腹壁	5.22	3.63	3.50	3.63	3.99

第三五表 16

鋼收縮鑄

鑄型番號	力 83	重 量 噸	16			
鋼塊番號	14196 $\frac{2}{3}$	材 質	Ni-Cr鋼			
形 狀	八角鑄	高さ縮み%	2.89			
角隅番號	1-5	2-6	3-7	4-8	平均	
胴上端%	角隅	—	3.34	3.01	3.01	3.13
	腹壁	3.08	3.16	2.86	3.48	3.15
$\frac{3}{4}$ 胴 %	角隅	2.90	2.80	3.04	2.80	2.88
	腹壁	2.18	2.27	2.37	2.60	2.35
胴中央%	角隅	2.95	3.62	3.10	3.02	3.02
	腹壁	2.59	2.56	2.34	3.13	2.66
$\frac{1}{4}$ 胴 %	角隅	2.90	3.23	3.36	3.09	3.14
	腹壁	2.58	2.81	3.02	3.81	2.90
胴下端%	角隅	3.53	3.85	4.15	3.50	3.76
	腹壁	3.77	4.14	3.73	4.28	3.98

第三五表 15

鋼塊收縮

鑄型番號	力 82	重 量 噸	16			
鋼塊番號	14124 $\frac{1}{3}$	材 質	Ni-Cr鋼			
形 狀	八角鑄	高さ縮み%	2.35			
角隅番號	1-5	2-6	3-7	4-8	平均	
胴上端%	角隅	3.51	2.13	2.46	3.66	2.94
	腹壁	2.32	2.70	2.73	4.02	2.94
胴中央%	角隅	3.40	2.37	2.47	3.49	2.93
	腹壁	2.58	2.03	2.36	3.36	2.58
胴下端%	角隅	3.82	3.62	3.16	3.39	3.50
	腹壁	4.28	3.76	3.50	3.49	3.76

第三五表 17

鋼塊收縮

鑄型番號	力 24	重 量 噸	30			
鋼塊番號	1464 $\frac{1}{4}$	材 質	炭素鋼 A ₃			
形 狀	八角鑄	高さ縮み%	2.67			
角隅番號	1-5	2-6	3-7	4-8	平均	
胴上端%	角隅	3.47	3.02	3.17	3.56	3.31
	腹壁	3.12	2.88	3.13	3.46	3.15
胴中央%	角隅	3.53	2.45	2.22	3.70	2.98
	腹壁	2.19	2.04	2.59	3.20	2.51
胴下端%	角隅	3.61	3.07	3.18	3.62	3.37
	腹壁	3.75	3.36	3.37	4.25	3.68

第三五表 18

鋼塊收縮

鑄型番號 力 24 重量 噸 30
 鋼塊番號 1445 1/4 材 質 炭素鋼A₃
 形 狀 八角錐 高さ縮み% 2.67

角隅番號	〇〇 1-5	〇〇 2-6	〇〇 3-7	〇〇 4-8	平均	
洞上端%	角隅	3.47	3.33	3.48	3.18	3.44
	腹壁	3.28	3.39	3.22	3.29	3.30
洞中央%	角隅	3.11	2.28	2.47	3.11	2.74
	腹壁	3.31	2.32	2.69	2.56	2.72
洞下端%	角隅	3.70	3.63	3.64	3.62	3.65
	腹壁	3.85	4.27	3.77	3.74	3.91

鋼塊收縮率集表 (%)

材 質	重 量 (噸)	鋼塊番號	洞 上 端		1/4 洞		洞 中 央		1/4 洞		洞 下 端		角隅曲痕/ 有無,出現數
			角隅	腹壁	角隅	腹壁	角隅	腹壁	角隅	腹壁	角隅	腹壁	
炭素鋼	14	14108%	2.89	2.17	—	—	2.78	1.45	—	—	3.82	3.98	無
N-Cr鋼	15	14118%	2.47	2.07	—	—	2.62	1.50	—	—	3.03	2.89	有, 8
"	"	145 1/2	2.78	2.78	—	—	2.61	1.79	—	—	3.11	2.97	有, 8
"	"	149 1/4	2.98	2.93	—	—	2.81	2.20	—	—	3.34	3.20	有, 8
"	"	14176 1/4	3.52	3.38	3.54	2.58	3.47	2.35	2.91	2.46	3.87	4.07	有, 8
"	"	14207 1/2	2.95	2.80	2.81	2.39	3.26	2.28	3.17	2.46	3.35	3.75	有, 8
"	"	14167 1/4	3.12	3.33	2.99	2.14	3.00	2.23	2.92	2.07	3.22	3.64	有, 8
"	"	14170 1/4	3.00	3.15	3.01	2.55	3.08	2.38	3.00	2.25	3.42	3.64	有, 8
"	"	14218%	2.91	2.94	3.03	2.45	3.23	2.59	3.20	2.62	3.59	3.48	無
"	16	14165%	3.27	3.26	—	—	2.77	1.66	—	—	3.13	3.13	有, 6
"	"	1518%	2.86	2.68	2.47	2.25	2.54	1.81	2.63	2.00	3.49	3.96	有, 7
"	"	1516%	3.22	3.33	2.72	2.20	2.50	2.29	2.70	1.95	3.31	4.27	有, 8
"	"	1495 1/2	2.97	2.53	2.74	2.43	2.86	1.88	3.28	2.18	3.42	3.42	
"	"	14105 1/2	2.66	2.58	2.85	2.35	2.72	2.02	2.87	2.14	3.56	3.99	有
"	"	14124 1/2	2.94	2.94	—	—	2.93	2.58	—	—	3.50	3.76	無
"	"	14196 1/2	3.13	3.15	2.88	2.35	3.02	2.66	3.14	2.90	3.76	3.98	無
炭素鋼	30	1464 1/4	3.31	3.15	—	—	2.98	2.51	—	—	3.37	3.68	有, 5
"	"	1445 1/2	3.44	3.30	—	—	2.74	2.72	—	—	3.65	3.91	無

第三六表

第七六節 鋼塊歪變形と角隅幽痕の出現

第三六表を通覽するに、胴の上端及び下端にては、角隅と腹壁との收縮に大差なく中胴は其の差大なり。茲に最注目すべきは一般に中胴腹壁の收縮率の最小なることに於て、其の腹壁が隣接角隅よりも收縮度の小なる事實は鋼塊が實際に歪變形あることを明示するものなり。第一〇四圖は鑄型及び鋼塊横断面にして、鋼塊の歪變形の狀の狀況を圖示したるものなり。此の歪變形は角隅幽痕發生當時の佛を語るものなりや否やは別の證左に據り推究を要すべきも、茲には之に説き及ばざるべし。融鋼が鐵鑄型の内壁面に觸れたる瞬間に急冷凝固したる薄き鋼殼は、再び温度の上昇にて若干膨脹し、續いて漸く收縮期に移るべきことは、齋藤博士の鋼塊冷却曲線に依りて推定せらる。鋼塊外層の中程に於ける此等の膨脹經歷は暫く措き、茲には結局の歪變形と角隅幽痕出現との關係如何を概見せんとす。

歪變形起れば角隅の内方に組織の弛みを生じ、角隅幽痕となり、其の歪激しきものは裂開を起すに至るべきなり。第三五表中の×印即ち幽痕の顯はれたる鋼塊に在りては角隅と腹壁とに於ける收縮の差大なり。乃ち短徑の收縮が長徑の其に對する比は小なり(第三七表)。而して此の比の値1に近きも

第三七表 鋼塊收縮率(腹壁% : 角隅%) 集表

材質	重量 (kg)	鋼塊番号	胴上端	1/4 胴	胴中央	1/4 胴	胴下端	角隅幽痕/ 有無, 出現数
炭素鋼	14	14108 2/3	0.75	—	0.52	—	1.04	無
Ni-Cr 鋼	15	14118 2/3	0.84	—	0.57	—	0.95	有 8
"	"	145 1/3	1.00	—	0.69	—	0.97	有 8
"	"	149 1/4	0.98	—	0.78	—	0.96	有 8
"	"	14176 1/4	0.96	0.73	0.68	0.76	1.05	有 2
"	"	14207 2/3	0.95	0.85	0.70	0.78	1.12	有 8
"	"	14167 1/4	1.04	0.72	0.74	0.71	1.13	有 8
"	"	14170 1/4	1.05	0.85	0.77	0.75	1.06	有 8
"	"	14218 2/3	1.01	0.81	0.80	0.82	0.97	無
"	16	14165 1/4	1.00	—	0.60	—	1.00	有 6
"	"	1518 2/3	1.94	0.91	0.71	0.76	1.13	有 7
"	"	1516 1/3	1.05	0.81	0.91	0.72	1.29	有 8
"	"	1495 1/3	0.85	0.88	0.66	0.66	1.00	
"	"	14105 1/3	0.97	0.82	0.74	0.75	1.12	有
"	"	14124 1/3	1.00	—	0.88	—	1.07	無
"	"	14196 2/3	1.01	0.82	0.88	0.92	1.06	無
炭素鋼	30	1464 1/4	0.95	—	0.84	—	1.09	有 5
"	"	1445 1/4	0.96	—	0.99	—	1.07	無

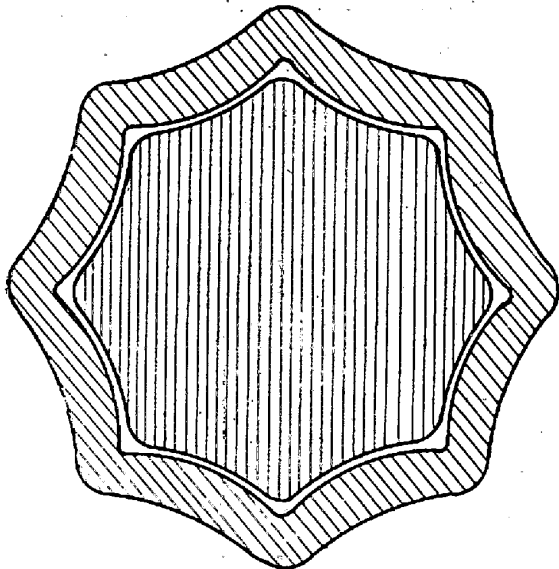
のは、一般に幽痕の發生せざる傾向あり。角隅と腹壁とに於ける收縮の差あるも全く内割れ或は角隅幽痕を發生せざるものあり。第三五表炭素鋼 14108 2/3 B₃ の例の如し。是は歪變形に對して材力の

對抗強かりしものとすべし。此の例に據れば角隅幽痕の發生の多少は、材質の影響も亦與かれることを示すものの如し。

第七七節 毘社形鋼塊の歪變形

多角塊鋼塊の側壁面が著しく、内方に窪める形式のものあり。此の型は 1880 年 T. E. Vicker⁽¹⁾ 氏の創案に成れるものにして、圓周上 1/8 圓周毎に弧線を其の儘内方に裏返したる形なり。之は毘社形又は吳形と稱し、日本製鋼所に於ても夙に之に準せる型式を採用せり。斯の如く側壁が内方に窪める形即ち毘社形は第三四表中の 16 噸鋼塊にして、鋼塊横斷面内接の半徑 R が側壁曲りの半徑 r₂ に對する比は R/r₂=0 なり。同表中の 15 噸鋼塊にては R/r₂=0.27 なり。此の R/r₂ なる値を便宜側壁の窪み比と稱すべし(第四七圖)。

第一〇四圖



の鋭角隅のもの共に其の長徑と短徑との收縮差は略相等し(第一〇六圖甲、乙 II 線)けれども、角隅幽痕の起生に對し、異なる結果を示せり。

夫は角隅鋭き鋼塊は、鈍きものよりも深き層より、角隅幽痕の起り初むることにして、其の實例を擧ぐれば第三八表の如し、之は同一取鍋より同時に分鑄して製したる 15 噸、16 噸各對の鋼塊大正 14 年度のもの 8 對の例より得たる數値なり。

此の成績に據れば、角隅の鋭き鋼塊に在りては、角隅幽痕の起點は豫期する如く深し。而して一般に鋼塊横斷面上に於て幽痕は比較的短くして細く、且つ破線となる

傾あり。第一〇五圖は角隅鋭鈍兩種鋼塊の中帶削(第三一節)の硫貼寫にして幽痕發顯の狀況を比較するに代表的の形象なり。

内割れが層深く起ることは凝固進行中鋼塊角隅の壓縮層が比較的深き層に及び且つ鋼塊外層の厚さ

第三八表

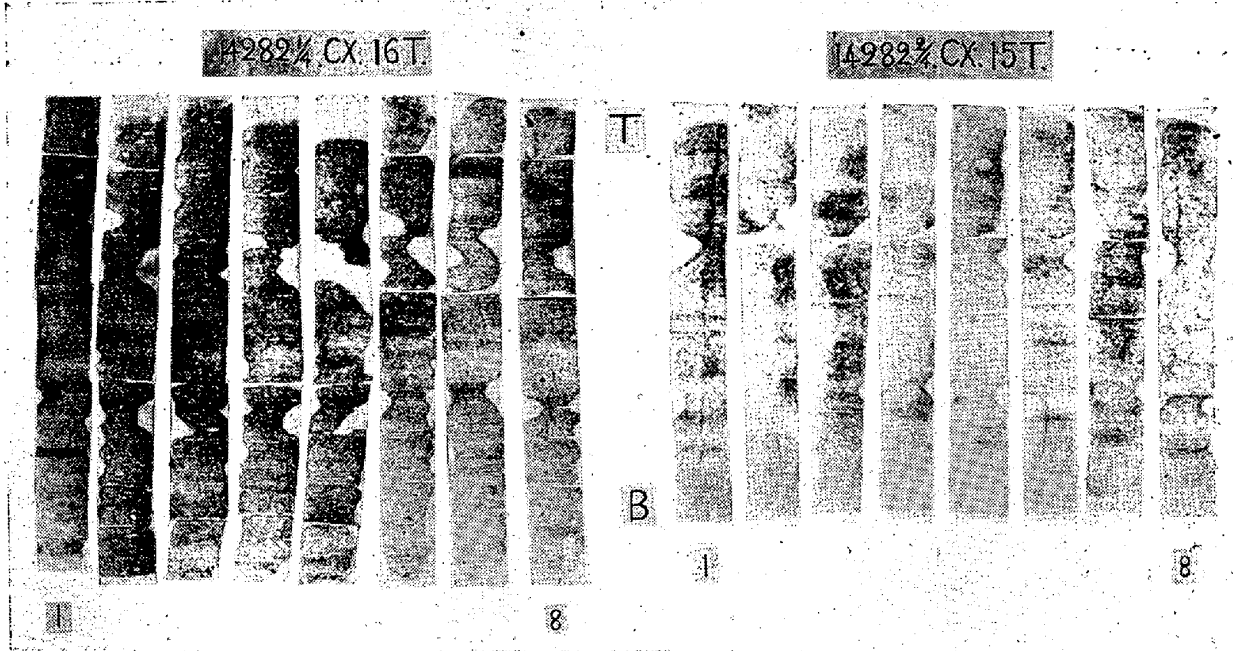
鋼塊重量	15	16
角隅	鈍	銳
R/r ₂	0.27	1.0
角隅幽痕の起點角頂よりの最小間隔(耗)	3	38
角隅幽痕の長さ鋼塊横斷面上(耗)	107	57
幽痕又は歪内割れの最大廣さ(耗)	8.0	1.0

加はりて強靱性も増大せる時機なるを以て、内割れ歪力に抵抗する力も強きに依る。従て組織の弛み開きの長さは短くなり幅も狭くなるべし。連続に行はるる鋼塊凝固層の收縮作用に對し、抵抗しつつ其の歪力の均衡を失ひたる時毎に僅に組織の弛み開きを起さば幽線は破線となるべし。此の故に角隅鋭き鋼塊は凝固初期には急冷に對し、角隅壓縮期の長きを以て其の間は内割れを生ぜず。即ち尖りたる角隅は冷却速かなるを以て歪變形大なるべきも、此の場合に

(1) Brearley: Ingot & ingot moulds, p. 81

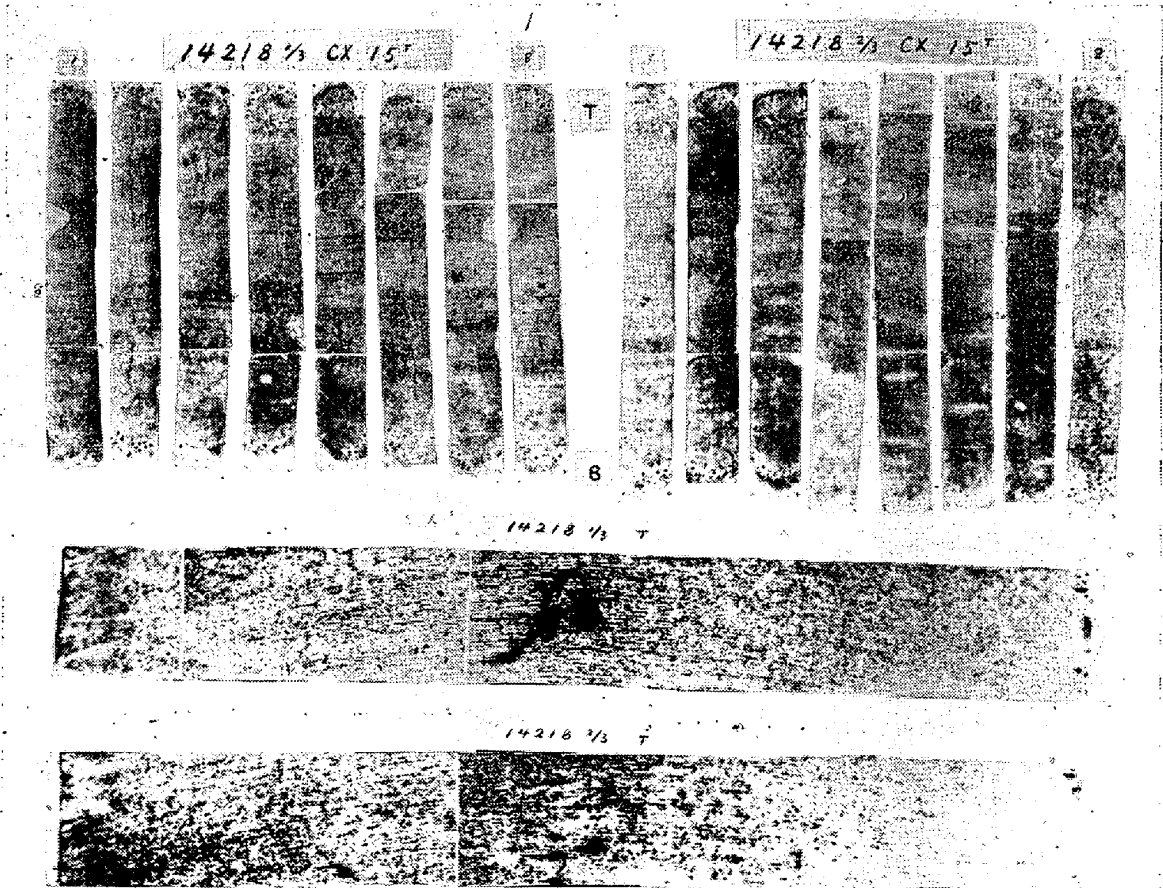
は角隅にて壓縮歪となり而も角隅は其の間に剛性を増すこととなる。是れ昆社形の優れたる點なりとす。

第一〇五圖



第一〇八圖

× 0.12



× 0.12

第七五節乃至本節に記したる事實より觀れば角隅幽痕は歪變形に基因し、歪變形輕きものは角隅幽

痕を發生せず。歪變形あるも其の程度軽く、且つ材質及び形狀の影響に依りて、組織の弛み開き即ち角隅幽痕を發顯するに至らざる場合あるものと解すべし。斯くて弛開説は益確證せらる。

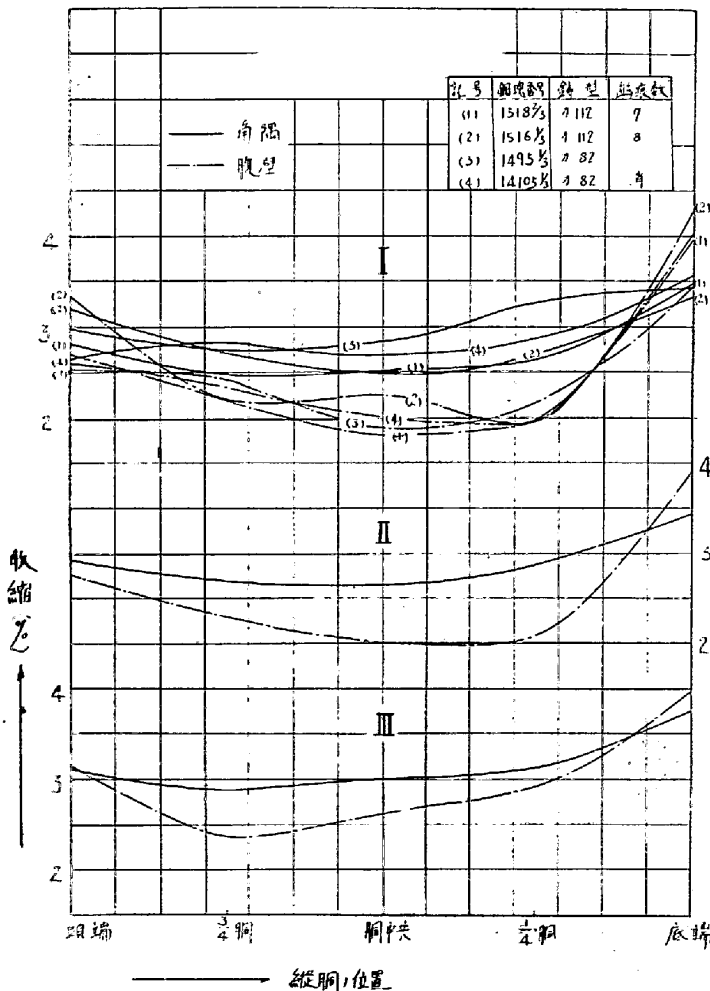
上來歪變形の力源を收縮歪の方面より觀たれども凝固層の内層の内側には融鋼を湛ふるを以て、内部よりの液壓も亦此の弛開を助成する力源なることは閑却すべからず。其の影響は次節に記すべし。

第七八節 鋼塊縦胴の彎曲と收縮

鋼塊の上下兩端は中胴部よりも收縮度比較的大にして、就中、下端は收縮度最大なる傾向あり(第三六表)。之を圖示すれば第一〇六圖の如し。甲圖は15噸鋼塊、乙圖は16噸鋼塊にして、各4個の鋼塊1乃至4につき角隅及び腹壁の横斷直徑の收縮%を縦胴の數箇所にて測定したる曲線圖Iなり。角隅直徑の收縮は實線、腹壁直徑の收縮は虚線にて表はしたり。

各4箇につきての値を平均したる曲線はIIなり。乃ち鋼塊の全形を誇大に言へば中胴は膨れて太鼓狀となれるなり(第一〇七圖)。其の彎曲の程度は腹壁の中央母線にて著し。角稜には輕微なり。斯

第一〇六圖 甲



の如き彎曲現象は收縮程度が胴の上下にて異なるに因るものなりや、或は胴の中央部が特に膨起せるものとせば、液壓の影響を受けたるに因るものなるか。

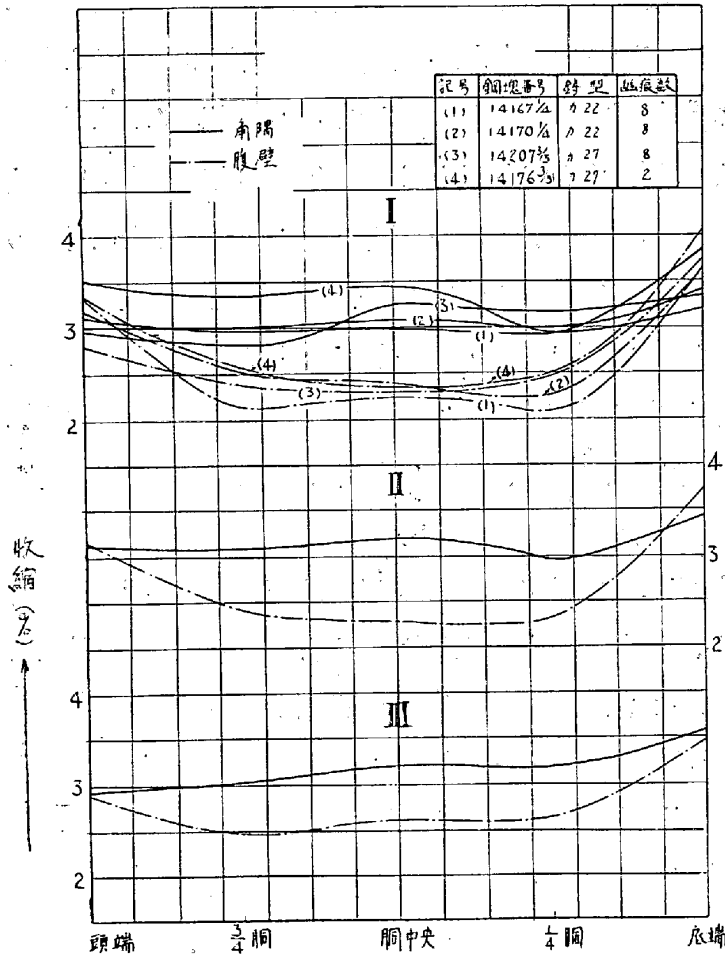
(1) Osann 氏に據るに鑄成に當りて急冷すれば鑄込の液態より、常溫の固態に至る迄の收縮度大にして、徐冷すれば收縮度小なり。又 Beck 氏(2)の實例に據れば急冷鐵鑄型(Chill mould)に依れる諸種の金屬鑄塊の收縮率は砂鑄型にて鑄成したるものよりも大なり。即ち鋼塊の總收縮率は冷却速度に依りて異なり又鑄體の材質(3)鑄體の大小等(4)に依りても變化するものなり。總收縮率の文献に見ゆるものを抄録すれば第三九表の如し。

鋼塊中胴は側壁のみより冷却すれども、兩端は側壁と肩或は底臺に接するを以て冷却速度比較的大なり。特に下端は鑄型の肉

(1) Osann: Eisen und Stahlgießerei. S. 215.
 (2) Mitt. Material, 1923 41 p. 12.
 (3) Keep: Stahl und Eisen, 1895 S. 897.
 (4) Ledebur: Eisenhüttenkunde.

厚き側壁及び底面の厚き鐵臺に接し、凝固の始終鋼塊底と鐵臺との間に隙を生ずること無きを以て、冷却速度一層速かなり。實際鑄込後若干時に於ける鑄型の胴面を見るに、其の下端、上端には角隅側壁共に暗色を呈し、中胴に於ても各稜は暗色を呈して、冷却の速かなるを示すに反し、中胴腹壁のみは赤色、高温にして徐冷することを示せり。

第一〇六圖乙



前節に實測せる收縮率は胴の上下兩端にては 2.15 乃至 5.08 % なれども、中胴部にては 1.13 乃至 3.68 % にして第三九表の數値に近似せるを以て、中胴の收縮小なるは主として、徐冷の結果なるものの如く想はる。胴の上下兩端が收縮大なることは恰も鋼塊断面に於て角隅が腹壁よりも收縮大なる事實(第一〇四圖)と同一の關係と見ることを得べく、此の見地より胴部が太鼓狀をなすは偏冷に依る收縮率の差異が一原因を爲すものと推考せらる。然れども單に偏冷收縮率の差異のみに歸すべからず。尙他の二原因を考慮せざるべからざること次節の現象にて解せらるべし。

第七九節 鋼塊縱鋼の彎曲と液壓

鋼塊外層が内層の液壓を受くる際に、比較的高温なる多角塊鋼殼胴部は腹壁を膨れ

出でしめんとする力の働を受くることは事實なり。

此の液壓は鋼殼に對し幾何の影響あるかを計り、其の壓力に對し鋼殼は如何なる程度に拮抗するかを概測せんとす。

鎔鋼の比重を 6.9 としたり。(1) 此の値は化學組成及び温度によりて偏差あるべきも、略近數として、採用し鎔鋼が鋼殼の内壁に及ぼす液壓力を計出すれば第四〇表の如し。

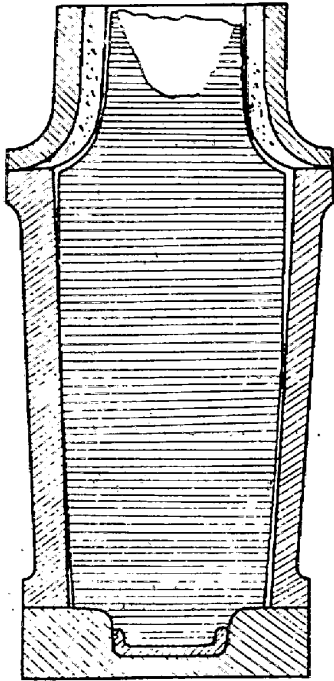
此の液壓は比較的に輕微なるものなり。液壓 p (kg/mm²) が鋼殼の周縁に沿ひて緊張する力即ち周張力 (loop tension) P を概測せるに鋼殼を圓筒 (半徑 r 糎) と見做し液を湛へたる凝固層の厚さ (c 糎) を 3 糎とし、次式を用ふれば第四一表の數値を得べし。

$$P = pr/c$$

(1) Osann: Eisenhüttenkunde, 1921, S. 243 Cometes Rendus, Aut. 18, 924 Fe. S. G. 6.92 ± 0.07 1540°C.

而して之に對抗すべき熱鋼塊の材力如何。炭素鋼及びニツケル鋼の高温に於ける緊張力につき實測例を摘録せば第四二表の如し。

第一〇七圖



鑄型が鐵鑄型なる場合に鑄鋼を鑄込むも其の内壁に融着せずして凝固するを以て、鋼殼の外皮は鑄込當初鑄型に觸るる所は 1100. 度以下ならざるべからず。加之急冷を受けたる鋼殼は直に鑄型内壁との間に隙を生ずるものなるを以て、鋼殼が2乃至3層の厚さに達せるときの最外層の温度は更に之よりも低からざるべからず。假りに之を 1000 度とするも此の温度に於ける鋼殼中胴部の緊張力(第四一表)は能く液壓(第四〇表)に對抗し、其の安全係數 10 以上に在り凝固層極めて薄き際には靜的液壓の影響を受けて延伸を起すべきも鋼殼の温度下降し、且つ厚さ増すに従ひ安全係數益増大し對抗力は遙に優越するに至るべし。液壓は其の層深きに從ひて大なるを以て(第四〇表)腹壁の膨れ方は下方程大なるべく、外層の形成初期に於ては、下方程肉厚くして強靱性も大なり。

此の兩種の力は對抗して、結局如何なる歪なるかを指示するものは、腹壁上下に互れる膨れ方の曲線(第一〇六圖)なり。其の平均曲線 II を觀るに腹壁の膨れは下胴に至る程大なり。之は一見液壓の影響なりと想はしむ。然れども此の膨れ方は單に液壓のみに依るものと速斷すべからざることは、次の例及び次節に記する所に依りて解せらるべし。

鐵製丸鑄型にて鑄成せる鋼塊に數條の角隅幽痕の顯はるる(第四九節)は内層よりの液壓のみに因るものとして解し難し。其の鑄型の内壁は旋盤にて丸く削りたるものにして正圓を爲し、液壓は同水平面の側壁に對して等齊の内壓を及ぼすを以て内割れの作用起り難ければなり。

第三九表

種目	線收縮率%	測定者
純鐵	2.44	Keep: S. u. E. 1890, s 604
鑄鋼	1.67—1.82	Ledebur: Die Legierungen, 1913, s 76.
鑄鋼	0.8—2.00	Martens-Heyn.
鋼塊	橫縮 1.7 縱縮 2.5	工學博士 工藤治人氏*
鍛鋼	1.5	Giessereizeitung, 1916, s 307.

此等の事實は急冷の歪變形が内割れの主要なる原因を爲し、液壓は之を助成するに過ぎざることを語れり。

液壓は圓鑄鋼殼に對しては周張力となれども、多角鑄鋼殼の側壁が内方に窪める形即毘社式のものに在りては、壓縮力となりて作用す。⁽¹⁾ 毘社形は本來液の内壓に耐えしめんが爲め企劃せられたるものなり此の形の鋼塊は内方よりの壓に對し對抗力大なるを以て、液壓に依る歪變形少かるべきことを豫想せら

* 機械學會誌 大正一〇年 第六九號 四頁
Carulla: Iron & Steel Inst. 1900 i. p. 163.

る。然るに實例に據るに此の種の鋭き角隅の鋼塊(第三六表 16 噸鋼塊) が收縮及び液壓に依りて受くる歪變形の狀況は鈍なる角隅の鋼塊(第三六表 15 噸鋼塊) に於けるものに比し、殆ど大差なきこと第一〇六圖甲乙の平均曲線 II を對照すれば明なり。

第八〇節 鑄型の裏附けと歪變形及び幽痕

鐵鑄型は鑄込まれたる鑄鋼を急冷するを以て收縮の歪變形大なれども、砂鑄型は冷却緩慢にして收縮の歪變形小なり。此の理を適用し鐵鑄型の内壁面に耐火性の熱不良導體を適度に裏附することに依りて冷却の速度を調節することを得べし。

第三六表中 15 噸鋼塊 14218 2/3 及び 16 噸鋼塊 14196 2/3 は薄き塗裝を施して鑄造したるものにして、其の腹壁の歪變形は著しく小となれること第一〇六圖 III の曲線の如し。塗裝に依り冷却は緩和せられ、従つて液壓は之に乗ずる機會を得て、益腹壁を膨れ出でしむるが如く想はれども、事實の之に反するは液壓の影響がしかく大ならざることを證するものとす。腹壁の收縮値小なるべきに、反つ

第四〇表

鋼塊の位置		胴上端	胴中央	胴下端
押湯上面よりの深さ(耗)	15 噸鋼塊	76	222	388
	30 噸鋼塊	173	236	473
鑄鋼の脈力 kg/mm ²	15 噸鋼塊	0052	0153	0263
	30 噸鋼塊	0119	0163	0326

第四一表

鋼塊重量(噸)	胴上端		胴中央		胴下端	
	r	P	r	P	r	P
15	46.3	080	42.5	216	38.7	346
30	58.4	231	53.3	289	48.2	523

て塗裝せざるものよりも高値なる傾あり。故に塗裝せざるものの膨れの大きなる即ち腹壁收縮値の小なるは單に局部徐冷の故にあらず。何となれば一層徐冷せられたるものの膨れ反つて小にして收縮率は高ければなり。又單に液壓の故にあらず。何となれば一層徐冷せられたるものが、膨れ反つて小なればなり然らば此の現象を如何に解すべきか。是は急冷せられたるものが熱的歪變形の大きなることを示すものにして、腹壁が下胴に至るに従ひ膨れ形となる傾あるは、其の急冷影響の大きなるものとすべし。而して熱的歪變形にて膨れ形となる際其の動的の部分に對する液壓は、之に參乘し單に靜的狀態に於けるものよりも、一層其の作用を増長するものと解す。

角隅幽痕生成の原理(第六三節)に従ひ、收縮の歪變形は局部偏冷に依る收縮率の差と全體急冷に依る彎曲變形との二因あることを知りたり。本例の場合に於ては此の二因に依り、角隅は退くと同時

第四二表

材 料		炭 素 鋼	炭 素 鋼	ニ ッ ケ ル 鋼
組 成 %		C 36	C 44	C 19 Ni 341
状 態		鍛 材	鑄 材	鍛 材
緊 張 力	600°C	17.1	25.0	50.0
	800	9.1	8.0	36.2
kg/mm ²	1000	—	5.0	17.3
	1100	2.8	—	—
	1250	—	1.5	—
測 定 者		G. P. McNaff (1)	E. L. Dupuy (2)	H. Carrington (3)

に腹壁は凸とならんとする傾向ありて、結局歪の變形を誘起し、其の變形の進行中、局部徐冷にて材質軟き部分に對し液壓作用行はれ、或は熱歪變形にて膨れ形となりつつある動的状態に對して、内方より一層之を助長する作用となり(第三圖)、遂に腹壁の彎曲は構成せらるるものと推考す。従つて腹壁の彎曲の大なるものは角隅の内割れを惹起するに至るなり。

塗装したる鋼塊は歪變形の小なるのみならず、角隅幽痕を起さざりき。又此等塗装鋼塊の鑄込に當り同種の鑄型にて塗装せざるものを用ひ、同一の取鍋より鎔鋼を分注して同重量の鋼塊を鑄造したるに塗装せざる方の15噸鋼塊14218 1/3及び16噸鋼塊14196 1/3は角隅幽痕前者に8條後者に2條を生じたり。

此の成績も亦弛開説を確證するものにして之と同時に裏附法は角隅幽痕防禦の一法として重要視すべきものなり。第一〇八圖は15噸鋼塊14218 1/3及び14218 2/3の中帶削の硫貼寫にして、下方の圖は鋼塊上胴断面の徑に沿へる部分の硫貼寫なり。塗装を施したる後者には角隅幽痕なし。塗装の肉薄きを以て、輪條幽痕圈の擴大せられたる形跡なし。

第八一節 鋼塊の歪變形と鑄鋼の鑄込

鎔鋼を鑄型に注入するに當り、歪變形に最關係あるは鑄込の溫度速度及び方向とす。

八角壩鋼塊中、第三五表の30噸鋼塊1445 1/1は、其中胴部に於ける長徑と短徑との兩收縮率殆ど相等しくして、角隅幽痕を發生せず、之を同材質同一鑄型にて鑄造したる鋼塊1464 1/1に比すれば歪變形甚少し。此の二鋼塊が歪變形に差等を生じたる所以を案すること次の如し。

高温鑄込の場合に在りては、冷却溫度勾配急なるを以て凝固層の薄き時機に歪變形起る。之を緩和するには特殊の方法を施さざるべからず。即ち徐注法を行ふか、或は鑄型を熱するか、或は裏附を施

(1) Chemical & Metallurgical Engineering, 1920, p. 660.

(2) Engineering, 1921 p. 391.

(3) Engineering, 1924, p. 69.

すか、或は鑄型材質を改むる等特に徐冷ならしむる工夫を盡さざるべからず。

低温鑄込の場合なるときは、凝固層の内外層に亘り、冷却の温度勾配は緩くなり、凝結は急齊となり、凝固層は急速に増大するを以て、自然に収縮の特殊變形及び液壓の乗ずる機を少からしむ。之に加ふるに、特殊の冷却法を施さば、歪變形は更に減ぜらるべし。

本例が若し高温鑄込の場合ならば、之を特殊の法にて徐冷に導かるべく、従つて鋼塊外層の高温軟弱なる時機を比較的長時間保たしむることに依りて、液壓の影響も多く加はり、膨れ形となる好機なるにも係らず、此の例に於ては其の膨れ著しからず。

斯くて本例は低温鑄込の行はれたるものなるべく、従て液壓の影響も小なるべきものとす。實際の統計値に據るに低温徐注にて角隅幽痕發生せざる傾あり（第一二八節）。此の實例の場合に於て、實際の操業は低温徐注の行はれたるものにして（第四三表）此の推論と符合せり。

銻鋼の注入の方向は鑄型の中軸に一致せしむるを常法とす。其の偏注する場合には偏冷となり歪變形を誘起すべきものと推考す。

銻鋼の瀑注ぎ又は其の他の動源に依りて、銻鋼の靜的液壓に更に動的壓力加はりたる場合には、鋼殼腹壁を押擴げんとする作用を助成すべく、其の力源の強弱に従ひて結果も亦之に應すべきなり。

高温鑄込は凝固層の厚さ増加の歩武遅く、急速鑄込は凝固薄き時期に動的の液壓加はるを以て胴腹を押し膨らし、鋼塊外層の内割れを導く原因となる。

本節上記の事實を総合するに、鋼塊腹壁の膨れ形となるは前節に述べたる腹壁の局部偏冷に依る収縮差其の一原因なり。高温急注の如き全冷却の温度勾配急なるは又一原因なり。而して靜或は動的の液壓は之を助成する作用あるものとして一原因となる。

第一〇章の括約

1. 鑄成大鋼塊の外形につき其の歪變形を實測し、次の事實を知りたり。

第四三表

材 質	炭 素 鋼	炭 素 鋼
鋼 塊 重 量	30 噸	30 噸
材 料 番 號	1445 ½	1465 ½
鑄 込 温 度	1579	1583
鑄 込 時 間	22 分 20 秒	21 分 35 秒
毎噸鑄込時間 秒	45	43

2. 歪變形著しき鋼塊には、一般に角隅幽痕を發生す。之は弛開説を確證するものなり。

3. 歪變形あるも其の程度鋼塊の材質形狀等の爲めに角隅幽痕の發生を輕減し、又は誘發せざることあり。

4. 鐵鑄型の裏附は歪變形を輕減す。従つて角隅幽痕防禦の一法となる。

5. 融鋼の液壓は歪變形に及ぼす影響甚小なり。

6. 高温急注は歪變形を増し、従て角隅幽痕を誘發す。

(1) Barba, Howe & Hill: Min. & Metal. Engin 1922 Vol. 67 p. 192.

第四編 氣體偏析

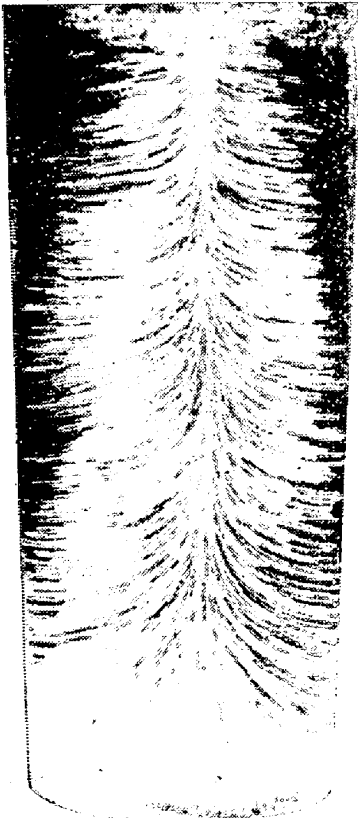
第一章 鑄物の蜂巢の生成

第八二節 鋼塊の蜂巢、氷塊の氣泡線

鎔鋼中に溶解せる氣體が凝固の際放出せらるることは周知の事實なり。此の放出氣體の鋼塊中に保留せられたるものは氣泡にして、氣體偏析の現象に外ならず。氣泡の形狀は通常球形又は橢圓體にして、之は鑄鋼塊の断面を検することに依りて知ることを得べし。

鋼体内に在る氣泡は不定の位置に散在することあり。或は一定の位置に整列し又は群集することあり。或る場合に蠕蟲狀氣泡は並列して生長し、蜂巢孔の如くなることあり。

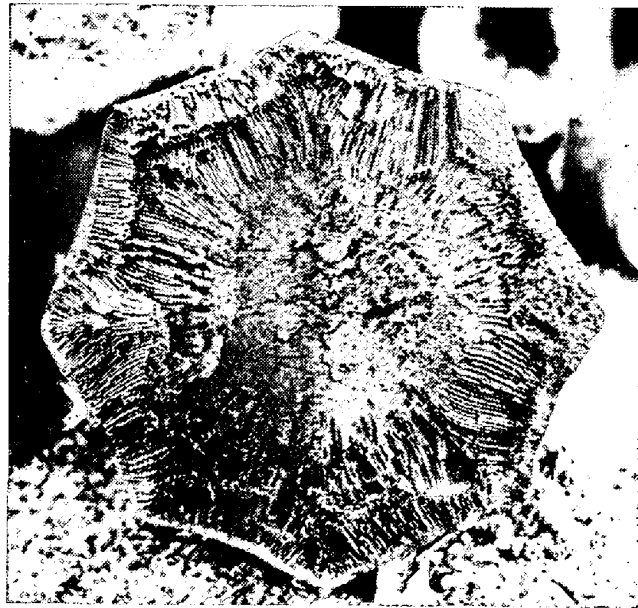
第一〇九圖



× 0.56

第一〇九圖は八角埵6噸鋼塊の蜂巢にして氣泡線は鋼塊の周縁より中層に向ひて並べり、元來氣體偏析は固體偏析と密接の關係を有するものにして蜂巢の探究は纏て輪條幽痕を解する便となる。本章は主と

第一〇九圖



× 0.083

して氷塊の實驗に依りて此の蜂巢の現象を解明し、且つ之に依りて偏析現象を解する參考となさむとす。

氷塊氣泡線の全景

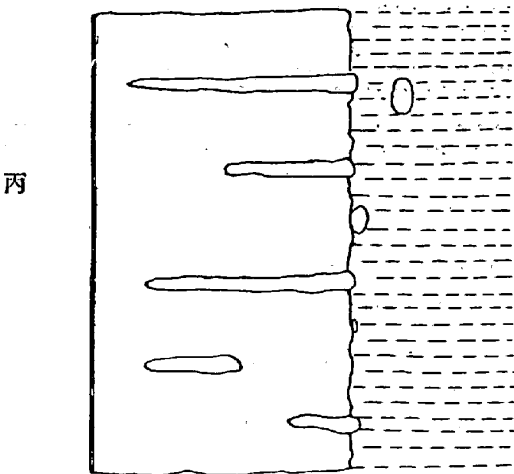
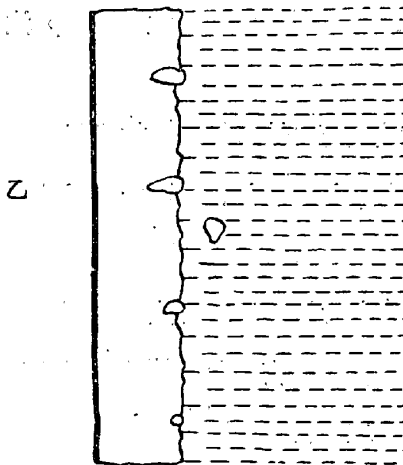
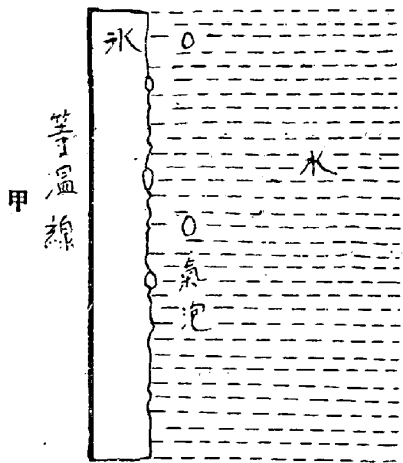
鋼塊の蜂巢は外部より觀ること能はず。其の縦横断面より氣泡線の全景を想像することを得るものにして、其の狀恰も總房狀の如し。氷塊の氣泡線は外より一目して、其の配列の狀況を透視することを得べし。之を鋼塊の氣泡線に對照せば啓示の便尠からず。

氷塊實驗一 氷塊氣泡線の全景は總房狀を爲す。

蒸溜水（以下單に水と記す）を容器に盛り、外部より冷却して氷結せしむるとき、氷塊外層は漸次

其の厚さを増すと同時に氣體を放出し氣泡線を形成す。第一一〇圖は丸形瓶内にて氷結せしめたる氷塊にして、氣泡線は氷塊の周縁層に起生し、内層に斜上し軸層に向ひて生長し、蠕蟲狀をなし、其の全景恰も總房の如し。之は鋼塊の周縁氣泡と全く同種に屬す。

第一一〇圖



の起れる瞬間の状況を圖示したるものなり。

塊にして、氣泡線は氷塊の周縁層に起生し、内層に斜上し軸層に向ひて生長し、蠕蟲狀をなし、其の全景恰も總房の如し。之は鋼塊の周縁氣泡と全く同種に屬す。

第八三節 氷塊氣泡線の生長の觀察

鋼塊の氣泡が細長く發育する理につきては、Müller 氏の圖解あり。⁽¹⁾ 之は氷塊の凝固進行中を實地に觀察することに依りて、一層明確に其の發育状況を知ることを得べし。

氷塊實驗二. 氣泡線生成中の状況を透視す

容器に水を盛り、之を冷槽に入れて冷却し、凝固層が漸次其の厚さを増すときの状況を觀察したり。凝固層の内壁を照明し擴大鏡下に之を窺ふとき、内壁面の諸所に氣泡發生し、大粒のものは其の浮力に依りて、上方に浮び來り、小粒のものは粘性に打勝つことを得ずして内壁面に懸り留まる(第一一〇圖甲)。

引き続き外壁より冷却作用進む間に、氣泡の附着せる部分は母液の供給杜絶して氷晶は其の部分に生長すること能はず。然るに氷晶の前面は自由に母液の供給を受けて新晶附加し其の生長進行す。新晶の析出すると同時に吐き出されたる氣體は既成の氣泡内に糾合せられて其の容積増加し、伸出せる新晶に伴ひ駢進す(第一一〇圖乙)

氣泡の新成せる先頭を觀察するに半球形をなして、晶壁面よりも稍突出するを常とす。此の作用繼續して行はるとき、氣泡は細長く蜿蜒として内方に生長するなり。氣泡の先頭突出せずして、稍内方に在るとき、氷晶の生長進行すれば氣泡の先端は閉ぢられ、其の生長は此の所に停まる。第一一〇圖丙は氣泡發育の種々なる場合

第八四節 氣泡線の形成の條件

(1) Zeitschr. d. v. d. Ingenieure 20 iii S. 493.

一般に氣泡線の起點は氷殻内壁面上氣泡の粘着點に始まり、氣泡線の長短は氷晶生長の速度と氣泡を形成する氣體容積との均衡如何に依る。即ち氣泡の粘着起點、氣體の容積氷晶生長の速度は氣泡の成否消長を左右するものにして、之は氣泡形成の三條件なりとす。此の條件の一を備へざるときは氣泡線成立せず。此の條件は一般鑄塊の氣泡に適用することを得べし。

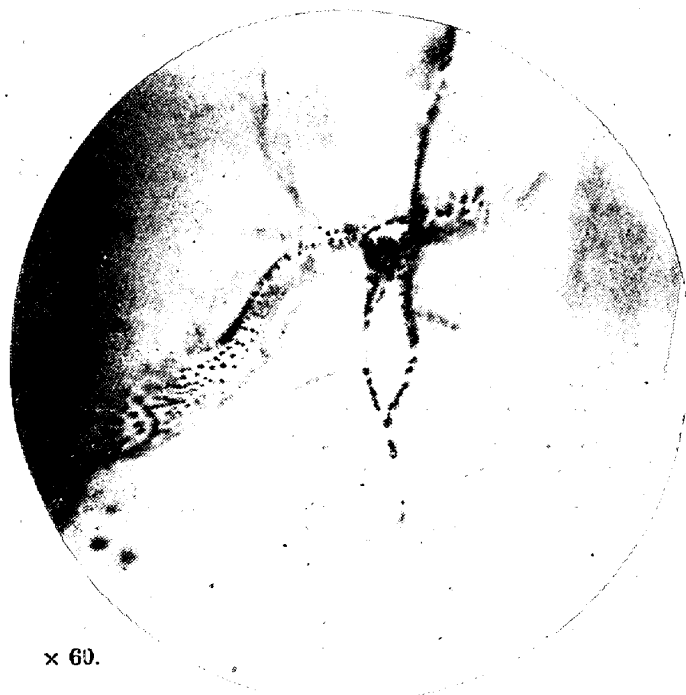
氣泡の粘着起點を機械的に拂ひ去れば氣泡閉ぢ込められずして、密實なる氷塊となる（第八八節）
 Echhardt 氏は⁽¹⁾ 1809 年鋼に遠心鑄造法を行ひたり。爾後旋廻鑄造法は種々に企てらる（第二六節）
 鑄塊頭部加熱鑄造法は湯引けを防止すると同時に頭部を液狀に保ち氣泡遁逸の途を開くものなり（第二三節）。

氣泡容積の變化に與かるものは溫度壓力、及び氣體放出量なり。溫度とは鑄込の溫度及び鑄込前の湯の溫度にして、鑄造作業と最關係深きものなり。

高壓なるとき氣泡の容積は減少するのみならず Henry 定律に據り、氣體の溶解度増加するを以て氣體放出量も減すべし。其の有効なることは鋼塊につきて實驗せられ、又 Withworth 法 Krupp 法 Illingworth-Robinson 法等の液壓法あり（第二五節）。

低壓なるとき氣體の溶解度減少し能く氣體を放出す。凝固進行中に減壓を氷結に施すに放出氣體盛に起れども、膨大せる氣泡の閉ぢ込めらるるものありて、氷塊を澄明ならしめ難し、Church 氏は此⁽³⁾の法を鋼鑄造に施したり（第二五節）。

第一一二圖



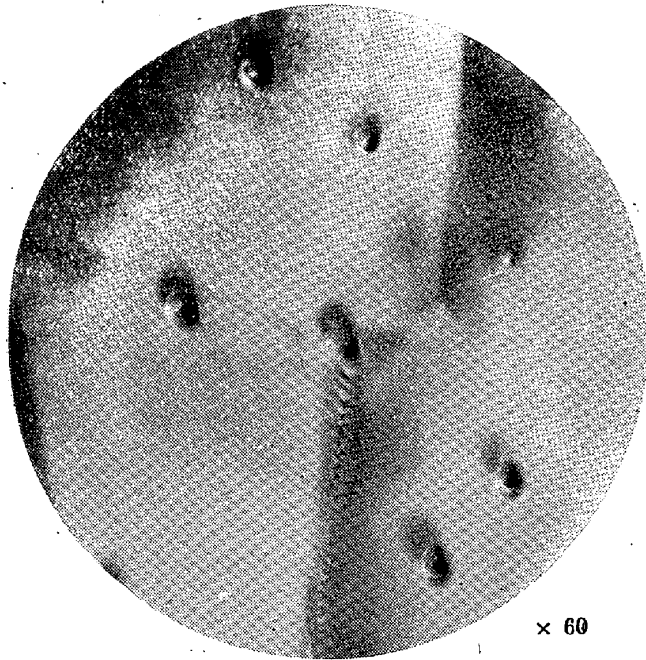
× 60.

氣體放出量を減少せしむるには全體の凝固前に於て減壓排氣を行へば密實なる鑄塊を得ることにつきて海老原理學士の研究あり⁽¹⁾。又鑄造に當りて珪素アルミニウム等の如き化學劑を用ひて放出氣體を收熄せしむる法あり。

結晶生長の速度は、冷却の速度に外ならずして、湯の溫度、鑄型の溫度、材質及び冷却方に依る。急冷すれば含有氣體は充分吐き出されざるを以て密實なる鑄塊を得べしと考へらるるもの如し。氷塊にては、冷却緩徐なるに従ひて氣泡大なり。是は益急冷なれば益小氣泡となることなり。稍急冷したる氷塊を檢鏡するに晶胞の膜に無數の微細なる氣泡整列し、共析晶の狀を

(1) Patent No. 3197, 1809 Great Britain.
 (2) A. Karner: Stahl u. Eisen. 1916 S. 1113.
 (3) Patent 5084, 1825 Great Britain.
 (4) 金屬の研究 : 1925 p. 7.

第一一三圖



× 60

呈せり(第一一二圖、第一一三圖)

是は氣液の溶體が晶胞界に於て恰も波來土の如く一時に析出せるに因るものにして、微細なる氣泡の表面には微細なる固態偏析物の附着せるものあり。他の材種の鑄塊に於ても斯の如き現象の存すべきことを概想す。此の程度の冷却速度にて氣體は尙晶胞外に排除せらるゝ餘裕あれども更に急凝固せしむるとき氣泡と氷晶とは入り交りて析出す。之は氷塊の髓部に於て見る所なり(第一二三圖)。

第八五節 氷塊氣泡線の位置

氷塊實驗三. 氣泡線の位置を検鏡す。

氷塊實驗二にて凝固進行中凝固層の内壁を窺ふとき、新出品壁の前面は網目をなせることを明に認め得。之は鋼晶の網目(Network)に相當するものなり。此の氷塊の外層を截斷し顯微鏡下に觀るに氣泡は氷晶界に介在するものあり、又晶胞内に獨立して存するものあり。

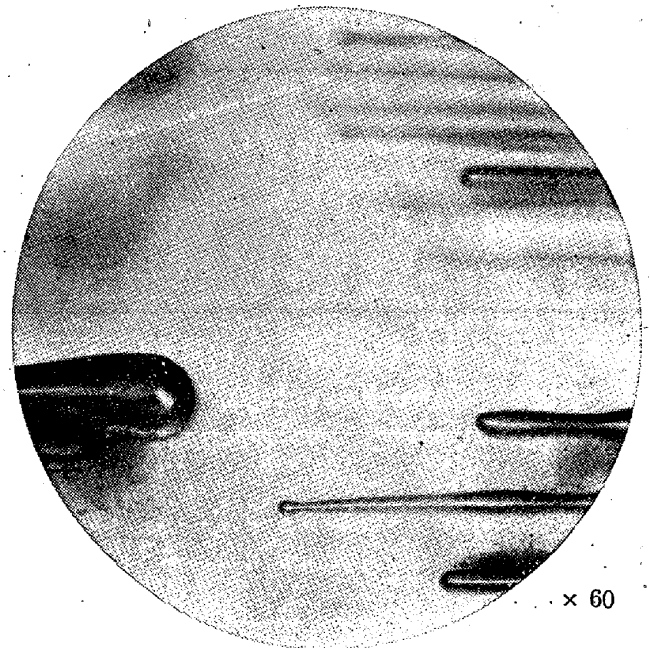
第一一三圖は氷塊外層を横断面半徑に直角に縦斷したる面の撮影にして丸き數箇の小孔は氣泡の横斷面なり。之にて晶胞に對する位置を觀ることを得べし。鋼塊氣泡線も亦之に類するものなるべし。

第一一四圖

第八六節 氷塊氣泡線の終熄

氷塊實驗四. 氣泡線の生長を止む、

氷塊實驗二と同様の實驗にて氷の凝固層が若干の厚さとなりたる時、之を冷槽外に引き出し凝固層の内壁を窺へば、氣泡線の先頭は漸次膨大して、浮き離れ水面に向つて去る。是は氣體の溫度上昇し其の容積の増大せしに依る。氷塊を再び冷槽中に入るとき氣泡線の先頭は窪み、氣泡線の生長は此の點にて中斷せらるゝに至る。

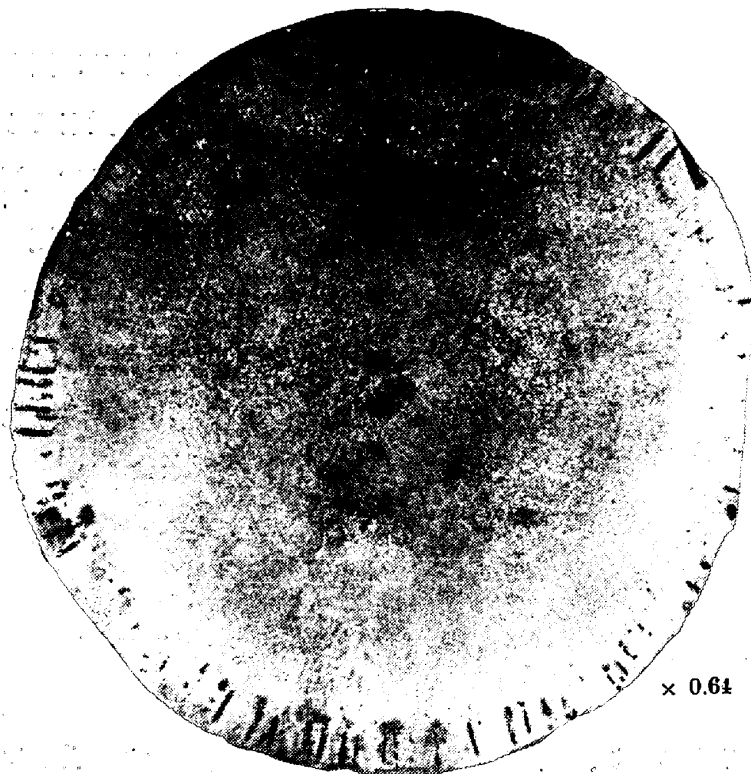


× 60

此の氷塊外層を横断面半徑に平行に縦斷し、檢鏡したるものは、第一一四圖なり。

鋼塊の周縁氣泡に終熄圈あること(第一一五圖)は其の圈にて氣體放出量が急に減したるものと考へられざるを以て、之は結晶生長速度の遅緩せられ氣泡形成の條件整はざるに依るものと解す。

第一一五圖



第八七節 氷塊氣泡線の消長

氷塊實驗五. 冷却の速さを變じて氣泡線を消長す。

水を三箇の容器に盛り、冷槽にて稍急冷したるものは第一一六圖甲にして、氣泡線長く發育し最徐冷したるものは丙圖にして氣泡線を形成せず。最初急冷にて氷殻を造り途中にて冷槽を更へ徐冷を行ひたるものは乙圖にして周縁氣泡を形成したり。

鋼塊の周縁氣泡（第一一五圖）も之と同理にて結晶生長速度の變化に依りて起るものなることを證せらる。

第八八節 氷塊氣泡の拂除け

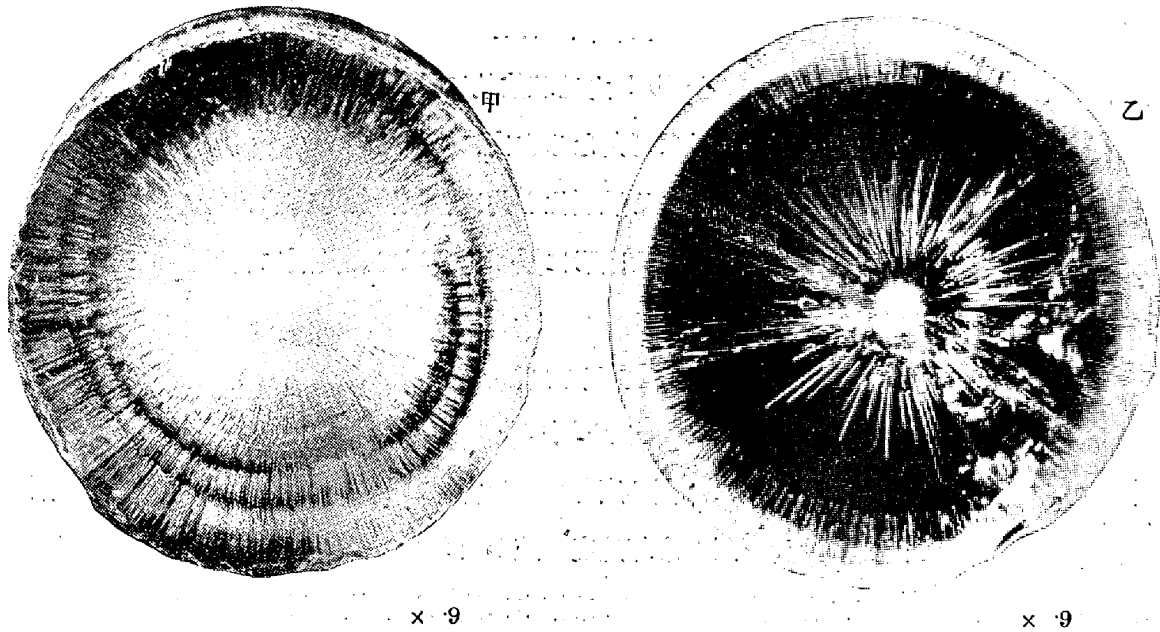
氷塊實驗六. 水を攪動すれば氣泡線は形成せられず。

水を二箇の容器に分ち盛り、同一の冷槽にて凝固せしめたり。但其の一は冷却に委せて放置したるに第一一六圖甲と同様の氣泡線生じたり。他の一は凝固進行中斷えず内層の水を攪動したるに第一一七圖の如く氣泡線無くして全く澄明なる氷塊を得たり。

斯の如く氣泡線生長中なるにも係らず、氣泡を悉く掃蕩し得たるは條件の一たる氣泡粘着の起點を失へるに因ることを知るべし。

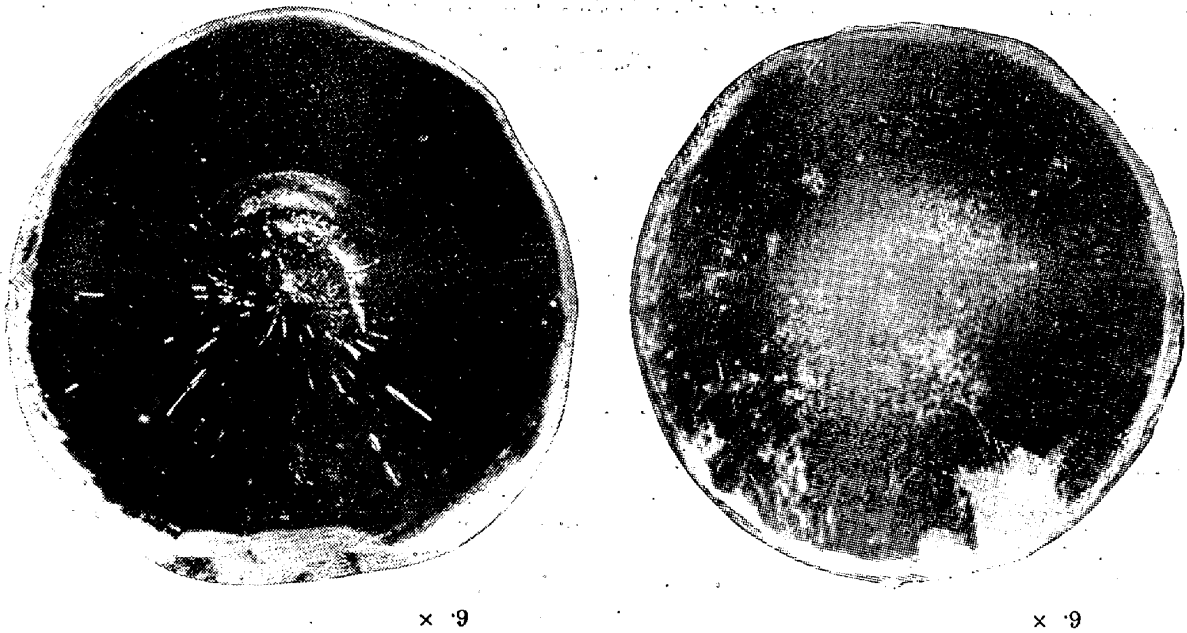
鋼塊に於ても凝固層の厚さ増すに際し適當なる攪動法を施すときは蜂巢狀の周縁氣泡を防ぎ得べきことを暗示するものなり。

第一一六圖



第一一六圖 丙

第一一七圖



第八九節 等凝結線

氷塊實驗七. 攪動法にて氷塊の等温線を造る。

鐵板製八角容器に水を盛り、之を冷槽に浸漬し底及び側面より一様に冷却し、凝固進行中毎1時間の終りに1分間つつ母液を攪動し4時40分間にて全塊凝固終りたり。

第一一八圖甲は其の縦断面にして乙圖は其の中胴横断面なり。攪拌に依りて氣泡を拂ひ除けたる部分は透明なる線明瞭に顯はれたり。之は等温線即ち等凝結線に相當するものなり。

此の冷却法に依れる等凝結線の幅は氷塊の底及び側に於て大差なし、上面は冷却速度遅きを以て其

の幅狭し。

等凝結線の形は凝固層の薄き間は容器の形に相似たれども、其の厚さを増すに従ひ漸次圓形となること横断面にても、又縦断面底部にても明なり。之は理論的に計測せる齋藤氏の等温線圖と合致せり。

茲に注目すべきは氣泡線が悉く等凝結線に直角なる方向に生長せることなり。凝固層の淺き部分に於ては容器の間壁に垂直なれども等凝結線の形狀變化と共に、氣泡線も亦之に應じて方向を轉ぜり。

殊に角隅の等凝結線は内層に向ふに従ひ漸次圓形に近づくを以て、角隅に於ける氣泡線は新月狀に彎曲せり。

第九〇節 等凝結線の變形

氷塊實驗八. 冷却法に依りて等凝結線の方向を變ず。

黃銅板製八角容器の外側面を石綿板にて覆ひ底部のみを裸出したるものに水を盛り、之を漸次冷槽の中に押し下すこととし側面に比し底面の冷却速度を速かならしめたり。最初の1時間は底を冷劑の面上に置き引き續き1時間毎に容器高さの $\frac{1}{2}$ づゝ冷槽中に没入し最後の $\frac{1}{2}$ を没入後1時40分間にて全塊の氷結終りたり。

第一一九圖甲は其の氷塊の縦断面にして等凝結線は下方狭くしてV字狀となれり。此の階段的冷却處理は等凝結線にて見別け得べし。

氣泡線は何れの部分にても等凝結線に對して垂直の位置を執れることに注目すべし。

此の氷塊の中洞横断面は乙圖の如し。

氷塊の髓に近き層に於ける氣泡の截面は丸き斑點となり輪狀に散列せり。但し寫眞にては透明なる氷塊の下層に亘りて透寫せるを以て稍不明瞭となれども縦断面(甲圖)と合せて構想せば明なるべし。

第九一節 氷塊の氣泡線と結晶生長の方向

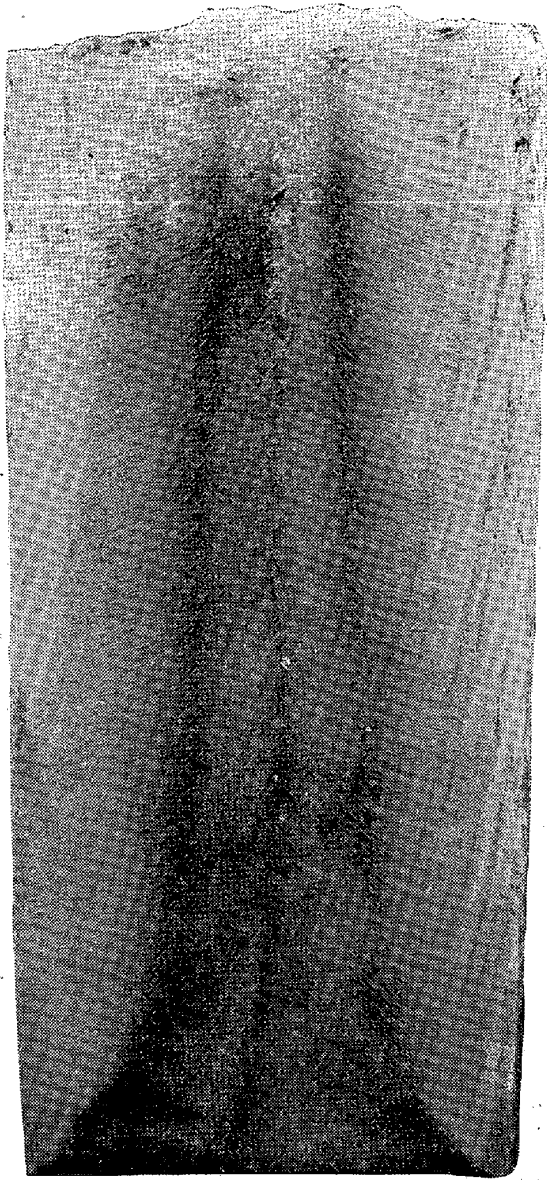
氷塊實驗九. 氣泡線と氷晶の方向を檢鏡す。

上來造りたる氷塊を縦横に截斷し、薄片を顯微鏡下に擴大し、氣泡線と結晶生長の方向とを觀察したり。

第一二〇圖甲、乙は孰れも氷塊縦断面の顯微鏡寫眞にして氣泡生長の方向は結晶生長の方向と常に一致せること、其の晶界線との關係にて知ることを得べし。

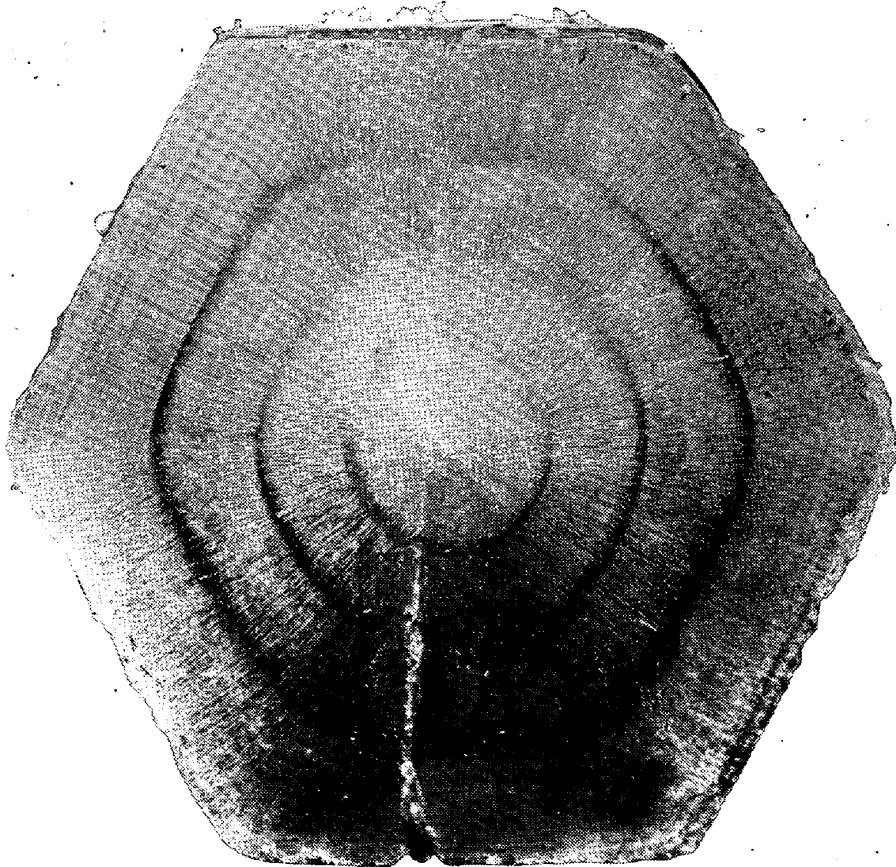
對物鏡の位置を上下に移動し、透明なる氷晶を通じ、晶胞界と氣泡線の位置の關係を明に認むることを得べし。寫眞には晶界線幽かに現はる甲圖は氷塊外層の部分にして、生長は略器壁に垂直なる所を示し、乙圖は内層の部分にして生長は斜上に向へり。而して氣泡の横断面(第一一三圖)は何れも丸し。此の故に第一一九圖の如く氣泡線が内方斜上に走れるは氣泡の浮泛力の然らしむるにあらずして氣泡線の方向は全く氷晶生長の方向の大勢に従ふものなることを知るべし。

尙此の事實を確むる爲に次の氷塊實驗を行ひたり。



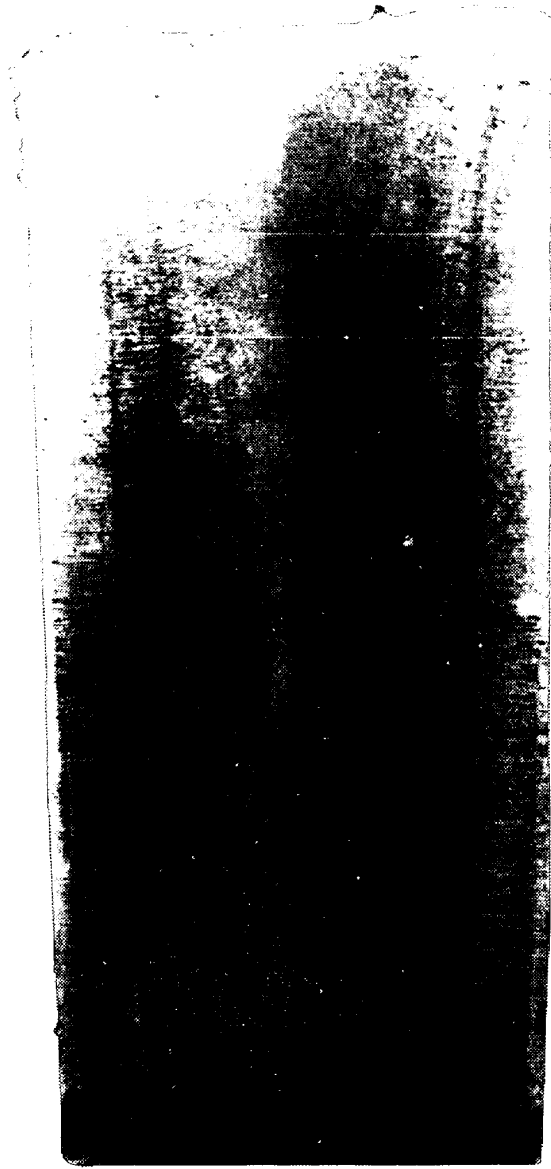
甲

x 0.5



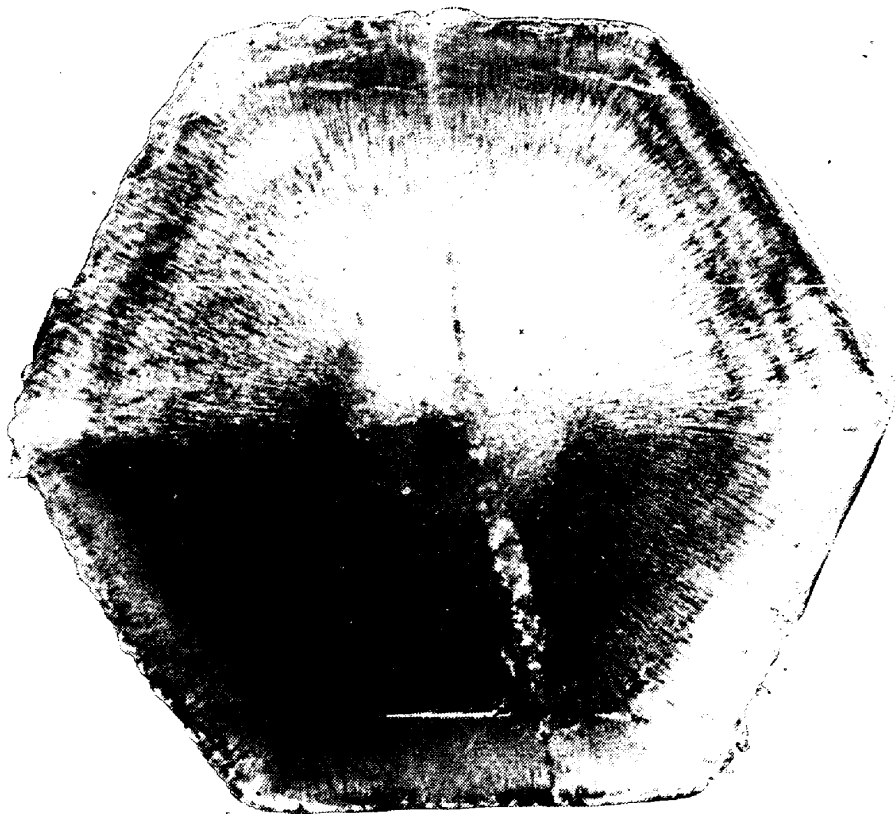
乙

x 0.8



甲

x 0.5



乙

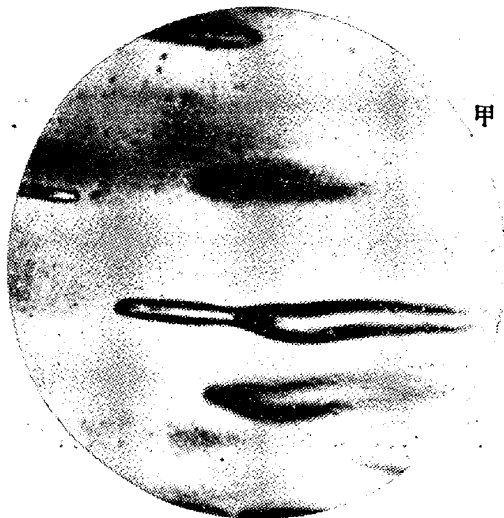
x 0.8

第九二節 氣泡線の下向

氷塊實驗十. 氷塊の氣泡線は下向にも生長す。

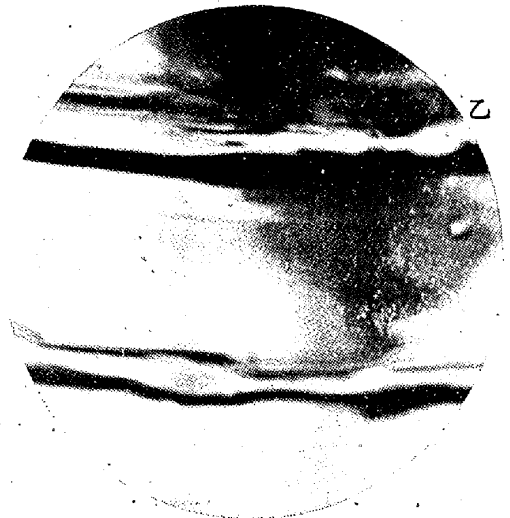
圓錐形フラスコに水を盛り、其の外側上下四周を冷劑にて覆ひ冷却せしめたるに氣泡線は内壁の各部分より容器の内心に向ひて生長し上方よりは下降の氣泡線を生じたり。第一二一圖は其の氷塊の縦斷面なり。氣泡線ノ方向は一般に其の浮泛力の爲めに左右せられ居らざることを知るべし。

第一二〇圖



甲

× 60

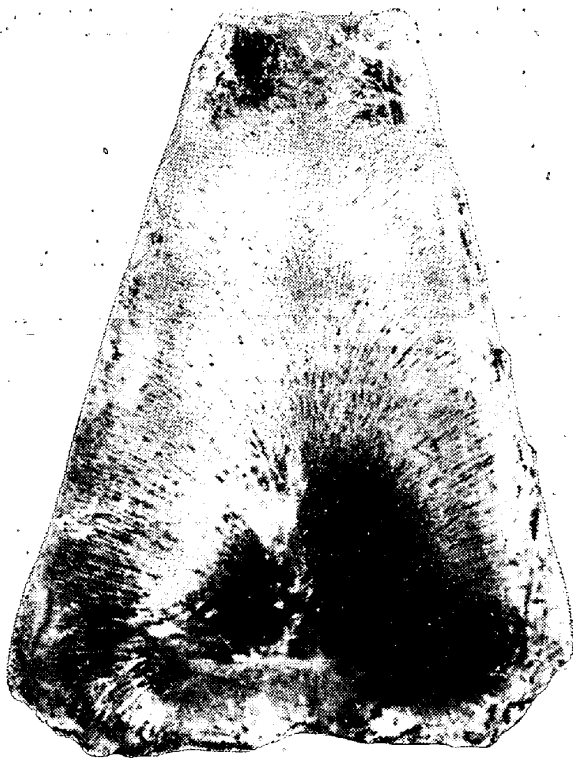


乙

× 60

第一二一圖

第一二二圖



× 0.67



× 06

第九三節 氣泡浮泛力の影響

氣泡線と氷晶生長の方向の關係は、氣泡の浮泛力と粘着力との均衡如何に依りて定まるものなり。氣泡遊離面浮泛力大なるときは、氷の内壁より浮き離れ去り、粘着力の爲め又は保留せらるべき状況にあるときは、氷晶の生長と消長を共にすること既に述べたる所なり。

此の中程の場合として氣泡の容積大となり浮泛力が可なり増加し上方に浮き上らんとする瞬間を氷の爲めに妨げられたりとせんか、氣泡は斜上内方に傾く場合もあるべし。

鋼塊の氣泡線にて浮上の影響を受けたるもの、如き形狀を爲す場合あり。第一二二圖は100噸鋼塊上層の縦破断面にして、外層の柱晶中に生じたる氣泡には其の内端上方に曲れるものあり。然れども之は等溫線の曲れると共に其の影響を受け上方に曲れるものと解するを當れりとす。

氷塊にて内層の氣泡線が上向する原因は中央部に出来る比較的多き巢が其の部分に於て自由に上方へ膨脹するに依るものなりとの説あり⁽¹⁾。此の説の如き影響もあるべけれども、前節に述ぶるが如く氣泡線の方向は主として凝結線の形狀に應ずるものと考へらる。

第九四節 等溫線と等凝結線

等溫線は等凝結線と一致するを常とす(第八九節第九〇節)れども例外なる場合あり。⁽²⁾骸晶(Skeleton crystal)生長のときの如し。

氷塊實驗十一. 骸晶の突出すること。

容器内の水を放冷凝固せしめたるに凝固進行中氷殻より氷晶の骨髄(Skeleton of crystal)異常に突出し母液内に蟠まるを見たり。此の種の結晶は骸晶と稱し屢々見受くる現象にして其の發育極めて急なるとき不完全に結晶し或る晶軸の方向にのみ生長したるものなり。

第九四節 髓

氷塊檢鏡 氷髓には氣泡線なし。

方壺型容器内の水を外側より冷却せしむるとき、其中軸部に不定形或は雪狀の脆き氷晶を結ぶを常とす(第一一八圖、第一一九圖)。此の部分氷塊の髓と稱すべし。氷髓は殆ど齊時に極めて急激に凝固するものにして白雪狀に氷結せり。第一二三圖は氷髓の顯微鏡寫眞なり。斯かる層に在りて氣泡は線狀に生長すること能はずして、隨所に遊離し雪狀の髓の所々に小氣泡となりて散在す。

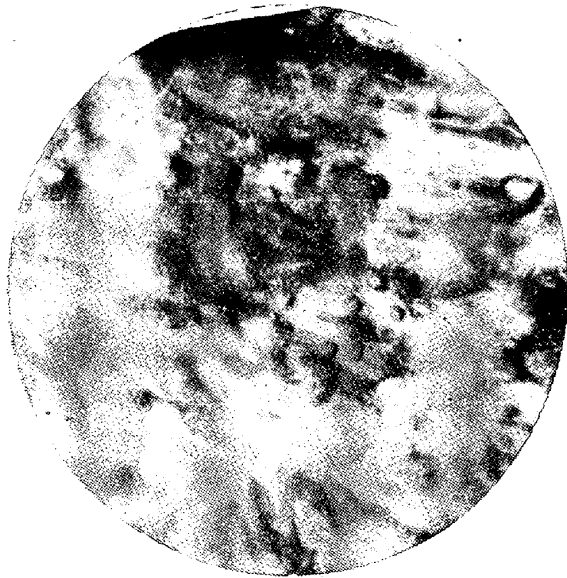
大鋼塊にも亦髓と稱すべき部分あり。此の部分に氣泡線は發育せず。中層の凝結に當り遊離せる氣泡が冷却速度と粘性に依り、浮上遁逸の途次塊内に閉ち籠めらるる場合あり。球形或は楕圓體をなして散在し、内層氣泡(Mittel Blasen)又は第二次氣泡と稱す(第一二四圖)。之に對し周緣氣泡⁽³⁾(Rand blasen)を第一次氣泡と稱し、通常蠕蟲狀の氣泡が放射狀に並列すること既に述べたり。

(1) 理 研 彙一法 第一輯 III.

(2) 佐藤傳藏著 大鐵物學 上 186

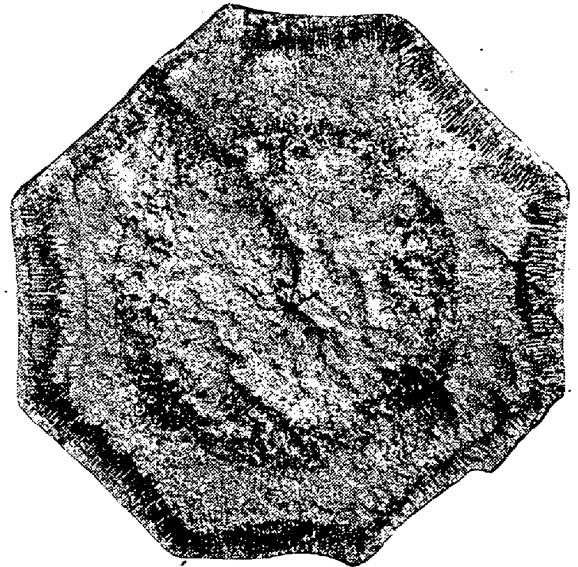
(3) Osann: Stahl und Eisen. 1908 S. 1612

第一二三圖



× 50

第一二四圖



× 0.09

第一章の括約

1. 鋼塊の氣體偏析特に蜂巢の生成は氷塊氣泡の透視的觀察に依り能く理解することを得。
2. 氣泡粘着の起點氣體の容積氷晶生長の速度は氷塊氣泡線形成の三條件なり。此の條件の一を缺くとき氣泡線成立せず。是は一般に鑄塊の氣泡生成にも適用せらるべく、鑄塊の氣泡を防止する諸法は此の條件の孰れかに應ぜんとするものなり。
3. 氷塊氣泡線は氷晶の内又は堺に生ず微細なる氣泡は晶堺に整列して發生することあり。
4. 氣泡線は等凝結線に垂直に生長す。
5. 氷塊及び鋼塊の髓には氣泡線發育することなし。

第五編 輪條幽痕、V狀幽痕

第一二章 輪條幽痕の性狀

第九六節 輪條幽痕

大なる鑄鋼塊の外層に角隅幽痕生じ内層には第一二五圖に示すが如き一種の幽痕生ず。此の圖は15噸鋼鑄塊縦斷面の硫貼寫にして其の配列の概況を見ることを得べし。

Stead⁽¹⁾氏は之を Axial segregation とし Brearley⁽²⁾氏は同種の硫貼寫を其の著書に掲げ單に ghost line と稱したり。又 Howe⁽³⁾氏は Rod like ghost と稱したり。Harper⁽⁴⁾氏は ghost line の性狀を記したり。

(1) Stead: Iron and Steel inst. 1907 p. 485

(2) Brearley: Ingot & ingot mould. p. 166.

(3) Howe: Metallography, p. 551.

(4) Harper: The Blast furnace & Steel plant, 1915 p. 278

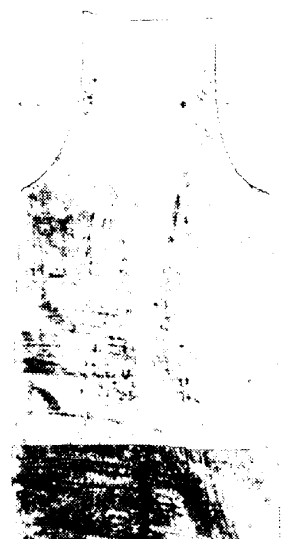
第一二五圖



鋼塊板新面硫胎字
二三〇二左CX 一五明

x 0.04

第一二七圖



A

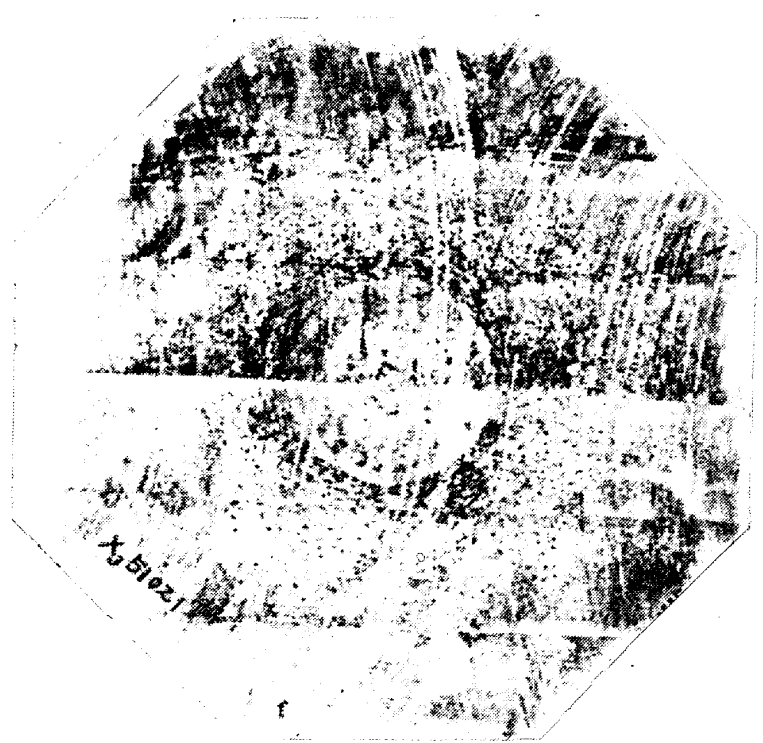


B



C

x 0.03



第一二六圖

x 0.05

最近英國鐵鋼協會の調査委員會の發表に依れば糸又は紐状をなせる ghost line と稱せり。此の幽痕には特稱を用ひ角隅幽痕其の他の幽線と區別するを可とす。

此の幽痕は糸紐を並列したるが如く（第一〇五節）にして鋼塊の横断面にては無数の斑點として顯はれ輪狀に配列し、縦断面にては線條に顯はれ八字狀に重疊並列す。即其の全景が輪形をなせる縦列の線條といふを簡約して之を輪條幽痕と稱せんとす。

本章には此の幽痕の物理的化學的性狀を記すべし。

第九七節 輪條幽痕の形狀

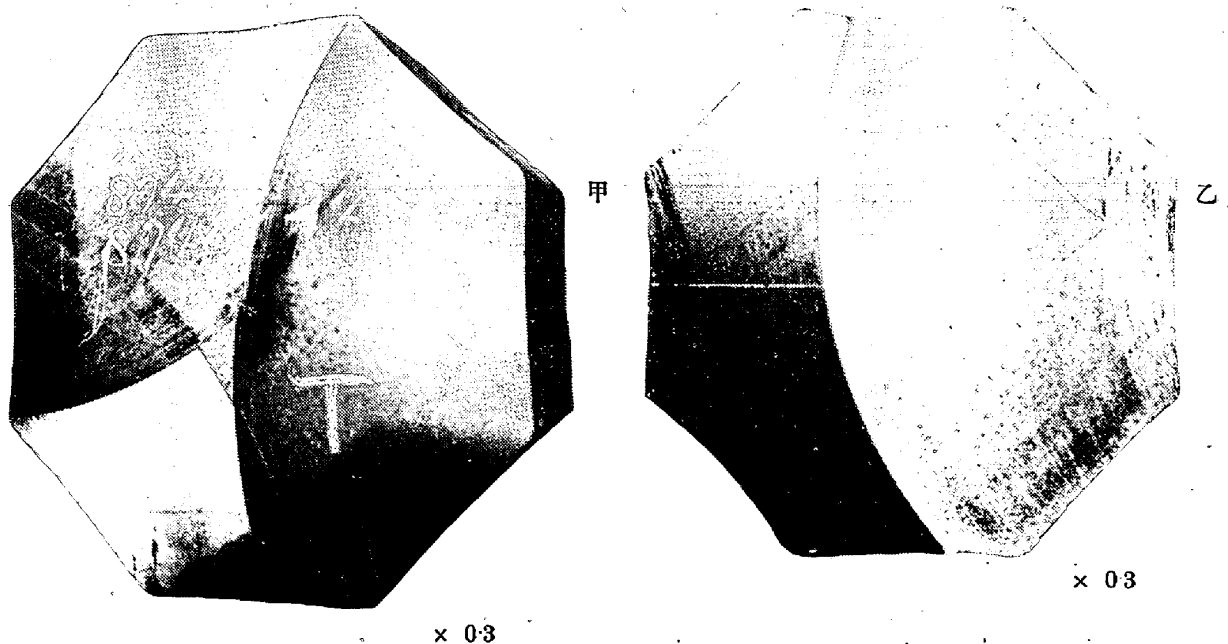
第一二六圖は八角 60 噸鑄塊 = ツケル鋼の上胴横断面の硫貼寫にして輪條幽痕の斑點は中層に渾輪狀に散點配列せり、而して縦断面に於ては並列せる糸紐狀の幽痕となれり。其の單條の幽痕は細き糸紐状をなし鋼塊の外層下方より始まり漸次其の太さと濃さを増す傾ありて内層上方に走る、其の長さには長短あり其の末端湯引けに終るものあり、又鋼髓に接するものは其の脈路 V 狀幽痕に連續す。輪條幽痕の各單條は鋼軸の周圍に環列し其の重疊せる全景を概想すれば恰も總房の如し。

此の幽痕は鋼塊の底部附近に於て細くして濃度薄く輪條圈の外徑は大にして圈層の幅狭し。頭部附近に於て單條の幽痕は太くして濃く、輪條圈の外徑は小にして圈層は厚し。第一二七圖は八角型 14 噸鋼鑄塊 = ツケルクローム鋼の縦断面の硫貼寫にして其の頭部底部及び中軸部の幽線の狀況を窺ふことを得べし。

第九八節 截剖面に於ける輪條幽痕の露出

輪條幽痕は硬くして脆き傾向を有すること角隅幽痕に類せり、其の鋼塊断面に顯はるゝや特異の光

第一二八圖



澤を有し本素地と識別することを得偏析程度の甚しきものは鋳塊を鋸にて截斷したる場合に明瞭に見別け得べし。第一二八圖甲は八角型 110 噸のニッケル鋼鑄塊胴の上部第一二八圖乙は下部の横斷切放し面にして輪條幽痕は白き光澤の斑點にて輝くを見る。但し寫眞には黒き斑點として映れり。

第九九節 輪條幽痕の化學組成

輪條幽痕と其の附近の本素地との化學組成を對照すれば第四四表の如くにして其の偏析成分の主なるものは磷硫黃及び炭素なり、而して別に硫黃の偏析は硫貼寫に依り磷の偏析はカンフィールド氏蝕法（第三三節）に依りて得たる結果と符號せり。

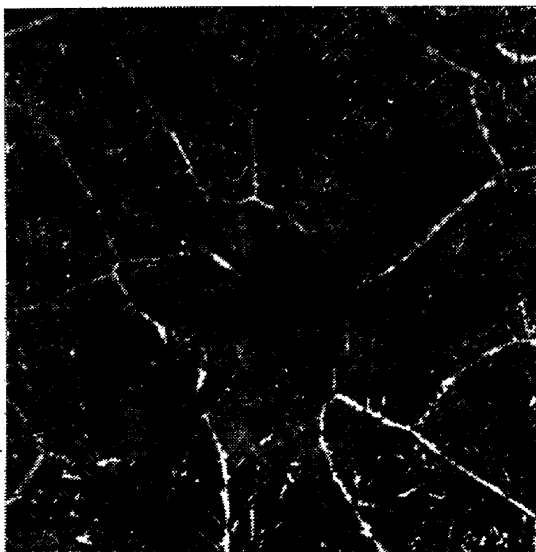
第四四表

試料記号	質種	鋼材状態	炭素	珪素	磷	硫	黄	ニッケル	マンガン	銅	材料番号
1	本素地	鑄塊	0.66	0.16	0.62	0.020	0.020	3.43	0.46	0.172	1256号 CX 17噸上胴 内部
	幽痕地	・	0.87	0.18	0.66	0.055	0.091	3.40	0.54	0.162	
2	本素地	・	0.39	0.11	0.57	0.042	0.025	—	—	0.024	材料番号 446 } 1A3 447 } 100噸上胴内部
	幽痕地	・	0.44	0.14	0.59	0.055	0.029	—	—	0.031	

第一〇〇節 輪條幽痕の顯微鏡的組織

鋼鑄塊の横斷面に於ける輪條幽痕の一斑紋（第一二六圖）には濃密にして一團となれるものあり（第一二九圖）稀薄にして散亂群をなせるものあり（第一三〇圖）兩圖共に鹽化銅アンモニウム蝕法に依りフェライト網目を顯はし硫化物を腐蝕し去りたるものにして 25 噸炭素鋼塊上胴内部の輪條幽痕なり第一二九圖幽痕をカンフィールド液にて腐蝕し其の一部を 150 倍に擴大したるものは第一三一圖

第一二九圖



x 67

第一三〇圖



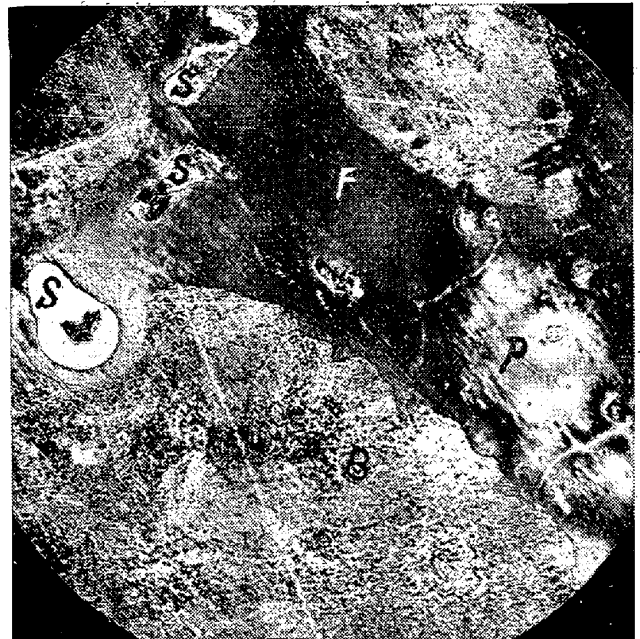
x 67

第一三一圖



× 150

第一三二圖



× 150

なりBは素地のソルビチックパーライトなり。Fは晶間のフェライトの網脈にして。此の域に硫化物の粒子S散在し又多量の燐を含む部分Pもあり、第一三一圖と同一の部分に熱色法を施したるものは第一三二圖なり硫化物粒子を包める環境は偏析燐の反應を示す此の偏析燐は鑄造後の高温熱處理に依りて擴散する傾向を有するものなり。

尙輪條幽痕の顯微鏡的組織は第一三章に記したり。

第一〇節 輪條幽痕の硬度

マルテンス式引搔硬度装置を用ひニッケルクロム鋼鑄材の輪條幽痕の硬度を検したり、引搔の壓力は10瓦にして其の成績は第四五表の如し即幽痕地は本素地よりも硬度高きことを示せり。

第四五表

	幽痕地		幽痕地より離れる本素地	材料番号
	硫化物粒子	硫化物附近の含燐及ソリ地		
引搔の幅	0.0025	0.0030	0.0038	1256 $\frac{3}{2}$ CX 17T

第四六表

試料番号	質種	ブリネル式硬度	シワー式硬度
1	本素地	226.5	40
	幽痕地	240.	42
2	本素地	226.5	35.5
	幽痕地	228.	38.2

力は10瓦にして其の成績は第四五表の如し即幽痕地は本素地よりも硬度高きことを示せり。

シワー式及びブリネル式硬度を同鋼材鑄造儘のものに就き幽痕地と其の附近の本素地とに試みたる結果は第四六表の如し。

マルテンス式シワー式及びブリネル式等の何れの硬度測定の結果を見るも幽痕の部分の本素地よりも硬度大なることを示せり。

ブリネル硬度は第四七表屈曲及び衝擊試

驗表の右側にも掲げたり。

第一〇二節 輪條幽痕の材力強度

輪條幽痕の偏析成分は角隅幽痕に於けるものと同種なるを以て、材力の強度に對しても兩者略類似の性あり、茲には輪條幽痕の材力強度試験の一實例を擧げて参考に資せんとす。

第一實例 輪條幽痕の材力強度 (第四七表)

第二實例 輪條幽痕の材力強度 (第四八表)

第一〇三節 輪條幽痕と角隅幽痕との比較

角隅幽痕と輪條幽痕とは共に鋼塊の偏析にして偏析成分も同様なるを以て物理的及化學的性質も甚だ類似せり、然れども生成の原因に於て趣を異にせるを以て、其の發生の位置及び形狀等に差異あり兩者の主なる異同を表記すれば次の如し。(第四九表)

第四七表 1916年3月日本製鋼所調

鋼種	材料番號	鋼塊大小	輪條幽痕の位置
炭素鋼	446 447 1/11	100 題	鋼塊上脗屑より 91 題の内層

鋼體化學組成	炭素	珪素	滿 俺	磷	硫 黃	銅
平均値 %	·26	·14	·48	·033	·014	·027

牽 引 試 験

試 験 桿	標 點 距 離	直 徑 耗	輪 條 幽 痕 の 所 在
	50·8 耗	13·5	硫 貼 寫 に て 檢 出

試 料 記 號	1		2	
鋼 材 狀 態	鑄 塊	"	"	"
熱 鍊	燒 鈍 850°	"	"	"
質 種	本 素 地	幽 痕	本 素 地	幽 痕
試 桿 は 鋼 塊 の	縱 方 向	"	橫 方 向	"
彈 性 限 kg/mm ²	22·0	—	16·5	—
緊 張 力	50·5	53·6	50·8	39·4
延 伸 率 %	22·8	13·0	22·0	2·8
絞 挫 率 %	22·7	10·5	34·0	2·0

試料記號	鋼材状態	熱 鍊	質 種	試棒方向は鋼塊横断面	弾 性 限 kg/mm ²	緊 張 力	延 伸 率 %	絞 捲 率
3	鍛 材	焼入 850°C 焼戻 540°C	本素地	に直角	33.2	60.3	30.2	53.5
	"	"	幽痕地	"	—	67.0	25.3	38.8
4	"	"	本素地	内にて直径に直角	—	60.0	21.2	27.8
	"	"	幽痕地	"	—	62.8	9.0	6.4
5	"	"	本素地	内にて直径に平行	36.7	62.8	22.0	42.7
	"	"	幽痕地	"	—	64.8	8.9	9.2

屈曲及び衝撃試験

此の試料記號は牽引試験の材料と符合するものにして同一記號のものは鋼材状態、熱鍊、試棒の方向等相等しきものなり。
衝撃動量は 150 呎封度なり。

試料番 號	質 種	屈 曲 試 験		衝 撃 値 f lb	ブリネル硬度
		角 度	歪		
1	本素地	180	不折	6.5	131
	幽痕地	30	折	5.8	143
2	本素地	82	折	6.5	128
	幽痕地	2.5	折	5.5	153
3	本素地	180	不折	29.5	163
	幽痕地	180	不折	27.0	159
4	本素地	180	不折	21.8	170
	幽痕地	20	折	13.8	163
5	本素地	180	不折	20.0	166
	幽痕地	5.5	折	19.0	163

第 四 八 表 1925 年 11 月 日本製鋼所調

鋼 種	ニツケルクローム鋼
材 料 番 號	1256 2/2
鋼 塊 大 さ	17 噸
鋼 塊 内 幽 痕 の 位 置	上胴肩より 25 糎外皮より 20 糎

鋼體化學組成	炭 素	珪 素	滿 俺	磷	硫 黄	ニツゲル	クローム	銅
平 均 値 %	·36	·15	·54	·015	·022	3.37	·33	·136

反覆衝擊試験 宇留野式反覆屈曲試験機を用ふ速度 1 分間 100 往復

	幅	厚さ	長さ	輪條幽痕の検出	輪條幽痕の所在
試験桿	5 耗	2 耗	60 耗	硫貼寫にて検出	試桿の中央、幽線は試桿の幅の面に直角とす。

鋼材	熱錬	質種	試桿は鋼塊の	反覆屈曲
鑄造	鑄放	本素地	横方向	151 回
"	"	幽痕地	"	18

第四九表

條 項		幽 痕	角 隅 幽 痕	輪 條 幽 痕
類 似	肉眼にて見別方		見様にて陰顯す	
	主なる偏析成分		硫黄、燐、炭素	
	鋼晶に對する位置		鋼晶の境界	
	本素地に比し硬度及脆性		硬く脆きを常とす	
	本素地に比し延伸、絞搾、衝擊値、反覆屈曲		小	
	本素地に比し X 線は		透し易し	
	本素地に比し銹化		速し	
差 異	鋼塊中發顯位置		外層角稜の内方	内層
	單一幽痕の形狀		扁平	細き棒狀
	伴生地疵		裂け割れ	空窩 (115 節)

第一二章の括約

1. 此の幽痕には硫黄燐炭素偏析せり炭素は熱錬に依りて擴散する傾向あり燐も亦此の傾向あれども甚遅し。
2. 此の幽痕には空窩を伴ふことあり。
3. 此の幽痕地は本素地に比し硬く脆き傾向あり。延伸率、絞搾率、衝擊値及び反覆屈曲値は低し。
4. 一般に輪條幽痕の物理化學的性質は角隅幽痕に類せり。