

鋼塊の偏析

鋼は凝固冷却の過程に於て、著しく不均質となり各種の偏析を發生する。偏析の現象は共存せる若干成分が均質體を成し難くして分離作用を行ふ事に起因するもので之は同種成分が

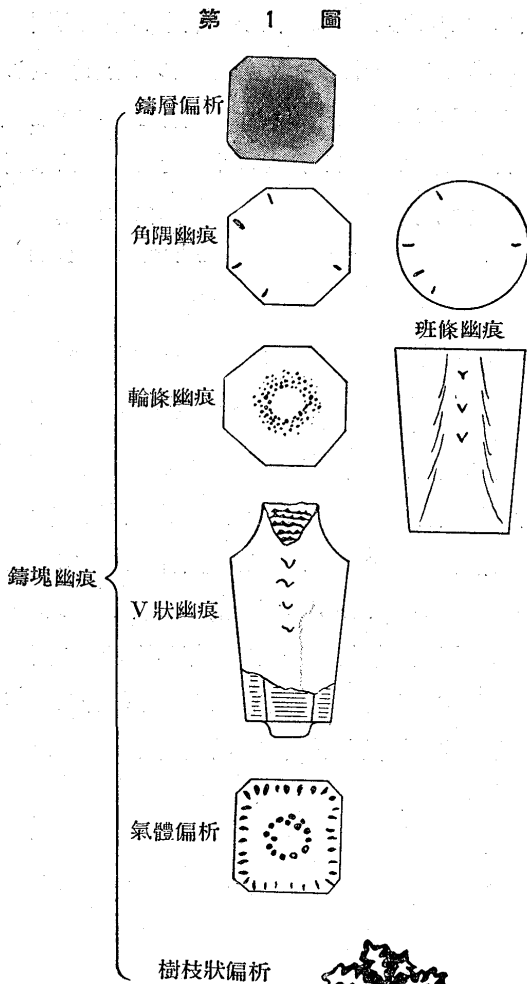
次第に其周圍に晶出して一體を結ばんとする傾向に依つて起るものである。

本問題に關しては我國に於ても從來幾多の研究が行はれた。

例へば 蔦田宗次氏²⁾は研究の結果偏析を大

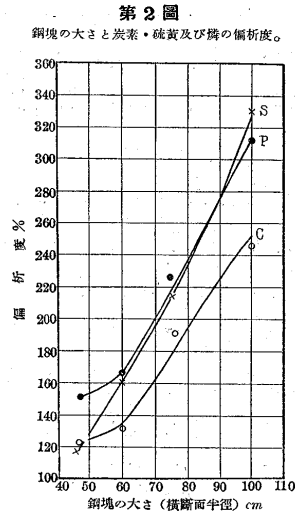
別して第1圖に示す如く鑄層偏析、角隅偏析、輪條幽痕、V狀幽痕、氣體偏析、樹枝狀偏析等と爲し又某氏は以上の外に固滓偏析が重要な役割を演じて居る事を力説して居る。以下各項に就き略述せんとす。

1. 鑄層偏析 鋼塊は其内外層全塊に亘り一齊に凝固せしむる事は不可能である。必ずや外層より内層に向つて漸次凝固するものなる故凝固點の低き偏析物も亦漸次内方に追ひ込まれて凝固の終層に於て濃厚なる偏析を形成する。之を鑄層偏析と名付く。之は鋼塊の大小に關せず一般鋼塊に存在するものである。

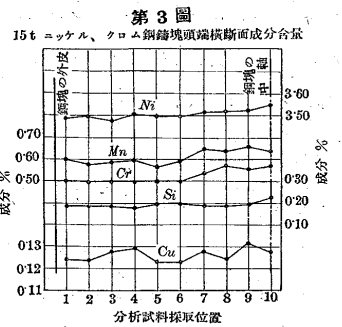


第 1 圖

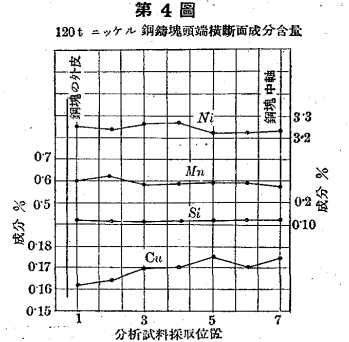
ニッケル鋼塊の横斷面に於ける偏析最高値が其最低値に對する百分率と鋼塊大きさとの關係を圖示すれば第2圖の如く鋼塊の大なる程偏析の量も著しく大である。上記の如く鋼中の諸成分中炭素、磷、硫黃は偏析程度著しきも Si, Mn, Ni, Cr, Cu 等は偏析程度甚だ軽く第3~4圖は15t及120t鋼塊の頭部横斷面の外層より内層に向ひ成分量の配置を圖示したものである。



第 2 圖

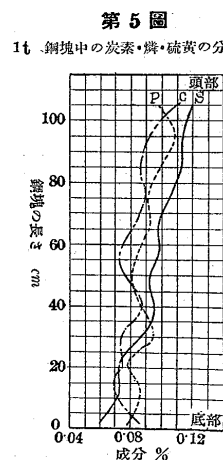


第 3 圖

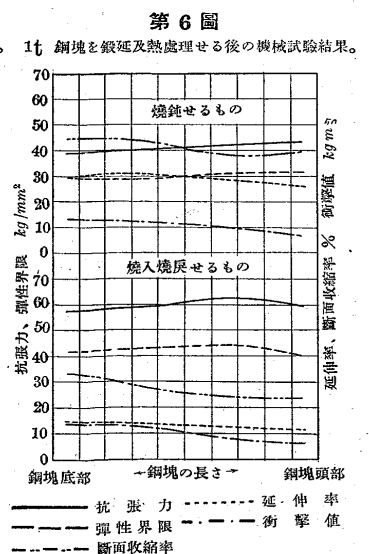


第 4 圖

炭素鋼1t鋼塊に就き其中層の上下に亘れる15箇所に就き分析し之を作圖せるものは第5圖にして底部より頭部に向ひ漸次濃厚となつて居る。之を縦軸の方向に壓延し細き丸棒となし焼鈍したるもの及焼入焼戻したるものに就き牽引及び衝擊試験を行ひたる成績は第6圖に示す通りである



第 5 圖



第 6 圖

²⁾ 蔦田宗次：鋼塊に起る偏析の研究、鐵と鋼、第13卷、第7號、(533~547頁)、8號(632~644頁)、9號(721~751頁)、10號(811~842頁)、11號(915~952頁)、12號(1,001~1,030頁)。

2. 角隅幽痕 鋼塊内の結晶間隙に磷化物、硫化物等の

偏析物が喰ひ入つて居るもので、第1圖に示す様に鋼塊の半径方向に向つて縦軸に沿ひ稜角内部に潜在して居るもの又は著しき縦割れとなり外部まで露出して居るもの等がある。鋼塊の縦断面に於て低部より約 1/3 程度が最も深く潜在する傾向がある。此種の幽痕は丸型又は鋸型鋼塊に於ても存在するが其位置は一定して居ない。小鋼塊には出現する事稀なるも大鋼塊 (3t 以上) になる程出現し易く、8t 以上になると程度の差こそあれ殆どないものはない。炭素鋼よりもニッケル鋼及ニッケル・クローム鋼には出現し易くニッケル・クローム・モリブデン鋼には反て出現する事は稀である。

幽痕部と本素地とより採りたる試験片に就き牽引試験を行ひたる結果を見るに幽痕地の弾性限は高値に傾き抗張力は高低不定なるも概して低きに傾けるものゝ様である。延伸率及び絞率の低下は著しい。

又幽痕部の衝撃、屈曲、反覆屈曲、振り、反覆振り等の諸試験に於ては孰れも幽痕部に於て劣値を示して居る事が解る。破壊試験に依れば破壊點は不定にして幽線より破壊する場合あり又は幽線外にて破壊する場合あり、之等の場合には幽線の位置の充分検出せられざりし事を證するものである。

3. 輪狀幽痕及びV狀幽痕 鋼塊縦断面に於て頂部より斑狀に斜降する多數の幽線を認める。斯る幽線は鋼塊の横断面に於ては輪狀の斑點となりて現はる。故に之を斑狀又は輪狀幽痕と稱す。又鋼塊の縦断面の中軸に於てV狀を爲す幽痕がある。之はV狀幽痕と稱して居る。一般に炭素鋼の輪狀幽痕の輪徑は大にしてニッケル鋼、ニッケル・クローム鋼となるに従ひ、其徑は漸次狭められニッケル・クローム・モリブデン鋼に及び遂に其中心部に密集するに至る。

又炭素鋼のV狀幽痕は頂部のみに現はれ底部迄深く及ばざるも合金鋼に在ては底部迄深く及んで居る。

之等の幽痕は何れも材質鑄込温度、冷却速度に關係して生ずるものである。普通斑條幽痕は内部にV狀幽痕を有するが斑條幽痕が内部に進出するとV狀幽痕は消失し最後に斑狀幽痕が中軸に達すると所謂破條幽痕なるものを生じ同時にV狀幽痕は無くなる。即之に依て見れば合金元素の多くを含む鋼塊程其不純部は中心部に追ひ込まれる事が解る。

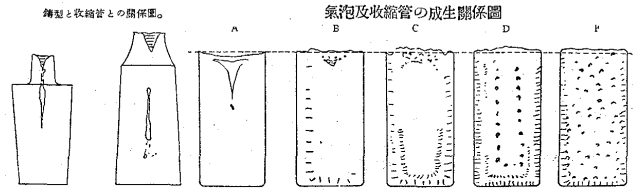
幽痕地に對する諸種の材力試験中實用上最賞用せらるゝ

は反覆屈曲試験で此法に依る時は幽痕部が本素地に對する材力強度を數値に表し得る便利がある。

4. 氣泡偏析と收縮管 合金鋼にありては脱酸を充分にする故氣泡偏析は殆ど存在しないが小鋼塊 (1.5t 以下) 又は之より大なるものも鑄込温度低きか或は特に低炭素鋼に於て生ずる事がある。微小の氣泡が外殻周圍一帯に存在する事あるも、一樣に熱度を高むれば殆ど發生しない。脱酸完全にして熱度高き熔鋼は收縮管を作る故之が防止策として押湯を附す。然し押湯の小さきもの又は末廣型の鋼塊に

第7圖

第8圖



は此收縮管が出来るのが普通である (第7圖参照)。氣泡偏析と收縮管との關係は第8圖に示す様同一の脱酸状態に於ても熱度の高きものは深き收縮管を生じて氣泡がなくなるが、氣泡が多く存すれば收縮管は無くなる。

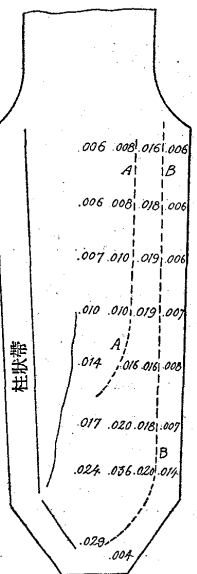
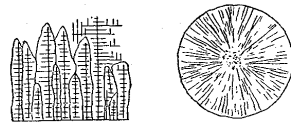
5. 樹枝狀偏析 鋼塊の冷却が外面から漸次内部に向つて進行するとき多數の結晶は互に相結合して第9圖に示す如き樹枝狀組織を形成す。其成因を一個のデンドライトに

第9圖

第11圖

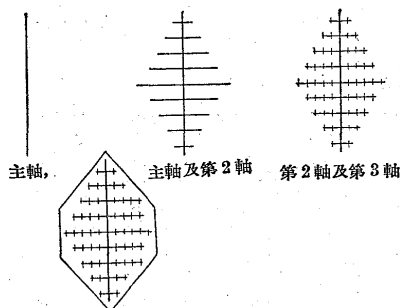
鋼鑄造の場合放射狀又は樹枝狀組織 (デンドライト組織) の形成を示す圖解。

固溶分析分布圖。



第10圖

デンドライトの成長を示す圖解。



境界を有する完全なるデンドライト

軸は凝固金屬の立方體又は八面體結晶粒の沈積に依り漸次成長して濃厚となる最後に軸と軸との交叉點が充填されてデンドライトは完成するのである。

就て考察せんに第10圖に示す如く第1に純度の高き従つて融點の高い成分に依て主軸が形成され、それから温度の

降下に伴ひ融點の稍低き成分に依り第2の軸次いで第3の軸が形成される。斯くして融點の高きものより順次軸に結合され最後に融點の最低き不純物の多きメタルが軸と軸の間隙に充填されるのである。斯くして出来る不均一性組織の事を樹枝状偏析と名付ける。

斯る粗粒の結晶が鋼塊中で大きく發達する場合は鋼塊内部は粗鬆にして其結晶接合部に於て破壊し易い。殊に大鋼塊に於ては緩漫冷却が行はれ易いから此種の弱點を起し易い。之を除去する爲に通例 Saddening と稱し、極く軽い鍛錬を與へ豫め内部の結晶粒を破壊して急激の鍛錬の場合に起る割疵を自然に防ぐのである。

8. 固滓偏析 固滓の多くは珪酸鐵、珪酸マンガン鹽類等で鋼塊の内部に散在して居る。鑄込温度の高きものには概して大粒のものは少いが、熱度の低きものは多く爐中鋼浴の精鍊良否に依りて著しく差があるもので、良好なるものは之等不純物少く清淨である。其分布は一定しないが普通底端に多く存在し中軸上部には少い。

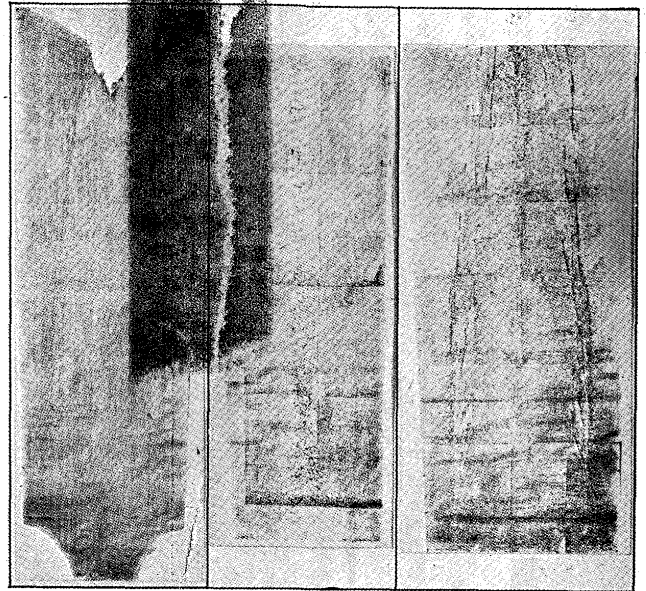
固滓は斑條幽痕と伴生する事多きも、然らざる場合もあり硫化物の如く中軸に向つて移動性が少い。即一旦熔鋼が鑄込まれた場合之を除去する事は最困難とされて居る。鋼塊断面の分布を示す一例を示せば第11圖の如くである。

鋼塊偏析と鍛錬

鋼塊の鍛錬に當り其内部の偏析状態を知る事は重要な事柄である。著者は大きさを異にする炭素鋼、ニッケル鋼、ニッケル・クロム鋼、ニッケル・クロム・モリブデン鋼の鋼塊及其コアに就き其縦断面のサルファプリントを撮り其偏析の方向を検出したるが其大體の傾向は炭素鋼に於て偏析は外側に偏するがニッケル鋼、ニッケル・クロム鋼に於て偏析は順次内方に追ひ込まれニッケル・クロム・モリブデン鋼に於て偏析は悉く中心に集めらるゝを見る。第12圖及第13圖は夫々炭素鋼、ニッケル・クロム・モリブデン鋼等の6噸鋼塊の縦断面より得たるサルファプリントにして其偏析現出の極端なる場合を示すものである。又各種鋼塊は其大きさに依り偏析の形狀を異にする事を知つた。之は第13圖並に第14圖を参照すれば明かである又著者は第15圖乃至第24圖に於て炭素鋼、ニッケル・クロム鋼、ニッケル・クロム・モリブデン鋼の大きさを異にする各種鋼塊のコアの縦断面に於ける硫貼寫を掲げ

た。今之等硫貼寫並に著者が目撃せる諸種鋼塊の偏析狀況を参照して其典型的形狀を圖示すれば第25圖に示す通りである。

第12圖 頭 第13圖 頭 第14圖 頭



底 底 底

第12圖 炭素鋼 6t 鋼塊の縦断面より撮取せる硫貼寫、鋼塊内部偏析狀況を示す。

第13圖 ニッケル・クロム・モリブデン鋼 6t 鋼塊の縦断面より撮取せる硫貼寫、鋼塊内部偏析狀況を示す。

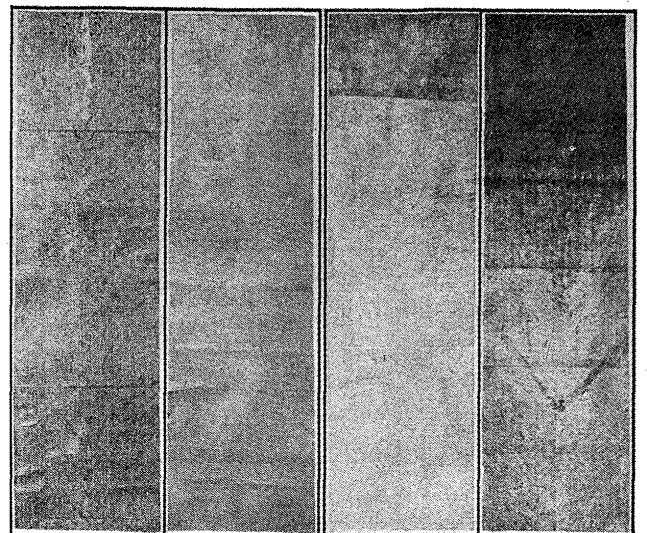
第14圖 炭素鋼 30t 鋼塊の縦断面より撮取せる硫貼寫、鋼塊内部偏析狀況を示す。

第15圖 第16圖

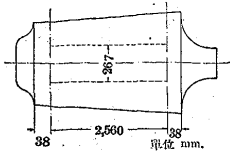
炭素鋼 20t 鋼塊のコアの縦断面に於ける硫貼寫、鋼塊心部の偏析狀況を示す。

炭素鋼 60t 鋼塊のコアの縦断面に於ける硫貼寫、鋼塊心部の偏析狀況を示す。

頭 M_2 M_2 頭



M_1 底 底 M_1

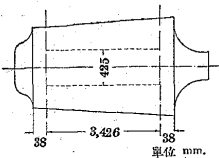
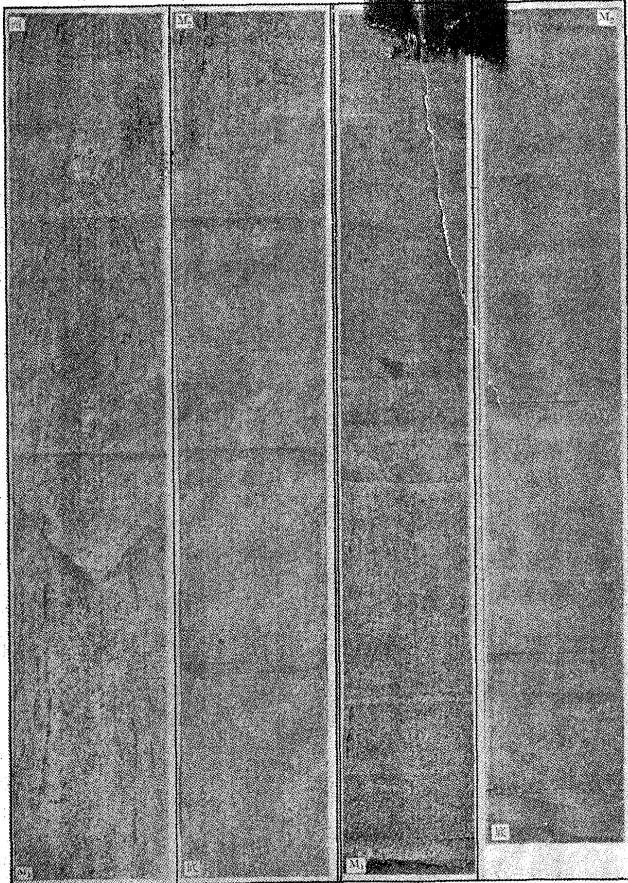


熔解番號 4518
鋼種 炭素鋼
鋼塊の大小 20t

分析									
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	
0.24	0.20	0.52	0.032	0.022	0.50	—	—	0.136	

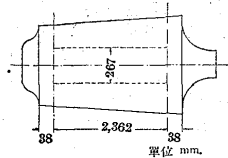
第 17 圖

低ニッケル・クロム鋼 60t
鋼塊のコアの縦断面に於ける硫貼寫、鋼塊心部の偏析狀況を示す。



熔解番號 566
鋼種 低ニッケル・クロム鋼
鋼塊の大小 60t

分析									
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	
0.32	0.21	0.76	0.028	0.026	1.15	1.15	—	0.168	



熔解番號 561
鋼種 ニッケル・クロム鋼
鋼塊の大小 10t

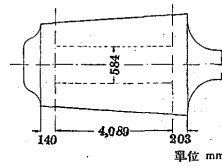
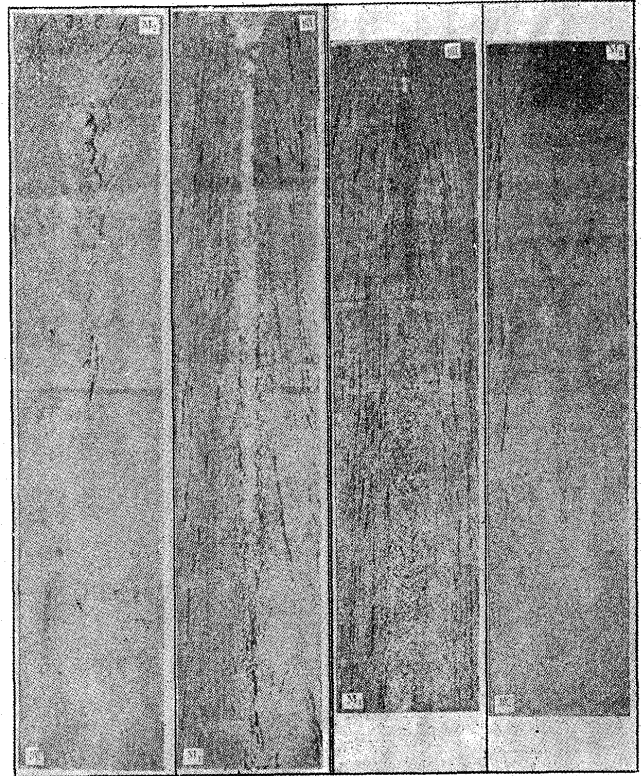
分析									
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	
0.82	0.18	0.48	0.024	0.021	3.33	0.63	—	0.112	

第 18 圖

低ニッケル・クロム鋼 75t
鋼塊のコアの縦断面に於ける硫貼寫、鋼塊心部の偏析狀況を示す。

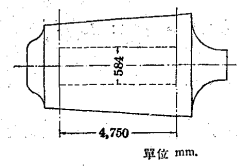
第 20 圖

ニッケル・クロム鋼 10t
鋼塊のコアの縦断面に於ける硫貼寫、鋼塊心部の偏析狀況を示す。



熔解番號 5200
鋼種 低ニッケル・クロム鋼
鋼塊の大小 75t

分析									
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	
0.31	0.16	0.65	0.022	0.018	1.15	0.89	—	0.124	



熔解番號 5220
鋼種 ニッケル・クロム鋼
鋼塊の大小 60t

分析									
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	
0.30	0.20	0.55	0.022	0.021	3.35	0.75	—	0.120	

第 21 圖

ニッケル・クロム・モリブデン鋼の 10t 鋼塊のコアの縦断面に於ける硫貼寫、鋼塊心部の偏析狀況を示す

第 22 圖

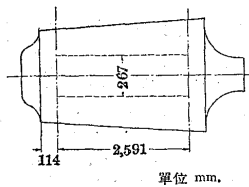
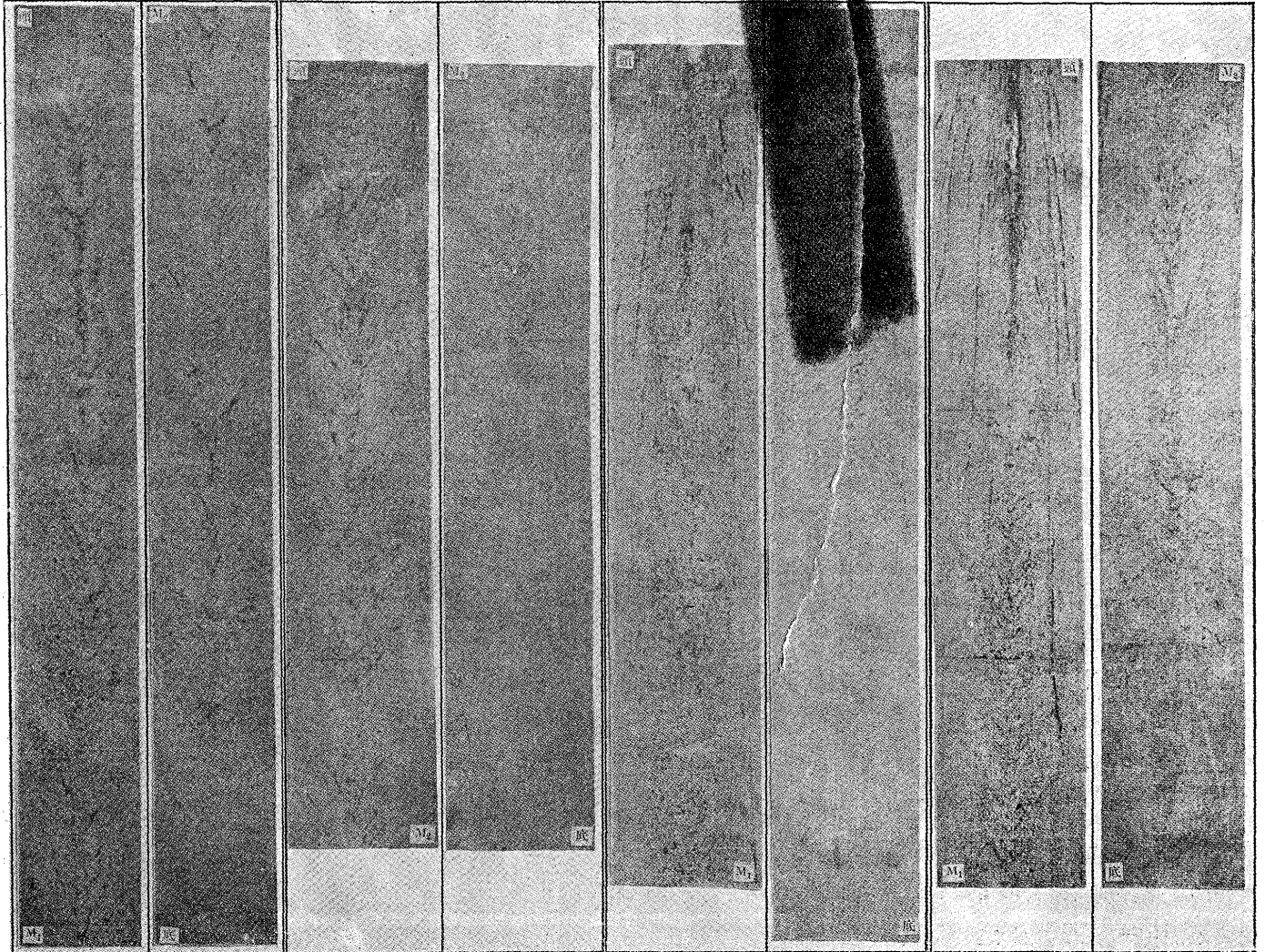
ニッケル・クロム・モリブデン鋼 10t 鋼塊のコアの縦断面に於ける硫貼寫、鋼塊心部の偏析狀況を示す。

第 23 圖

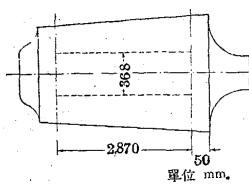
ニッケル・クロム・モリブデン鋼の 60t 鋼塊のコアの縦断面に於ける硫貼寫、鋼塊心部の偏析狀況を示す

第 24 圖

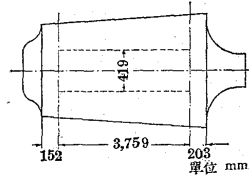
ニッケル・クロム・モリブデン鋼 60t 鋼塊のコアの縦断面に於ける硫貼寫、鋼塊心部の偏析狀況を示す。



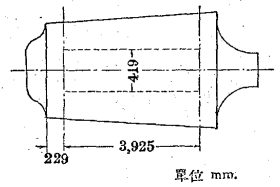
単位 mm.
 熔解番號 5180
 鋼種 ニッケル・クロム・モリブデン鋼
 鋼塊の大き 10 t



単位 mm.
 熔解番號 5208
 鋼種 ニッケル・クロム・モリブデン鋼
 鋼塊の大き 10 t



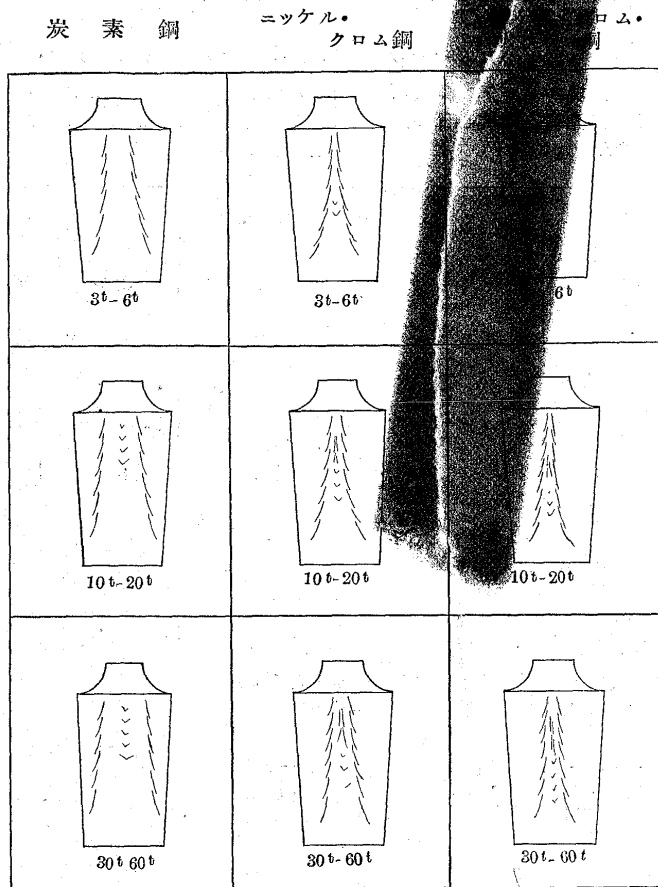
単位 mm.
 熔解番號 595
 鋼種 ニッケル・クロム・モリブデン鋼
 鋼塊の大き 60 t



単位 mm.
 熔解番號 4429
 鋼種 ニッケル・クロム・モリブデン鋼
 鋼塊の大き 60 t

分 析										分 析										分 析										分 析									
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	
0.34	0.25	0.49	0.025	0.009	2.81	0.71	0.74	0.092	0.33	0.22	0.55	0.020	0.010	2.85	0.72	0.64	0.080	0.32	0.20	0.45	0.025	0.010	2.85	0.61	0.51	0.076	0.32	0.18	0.60	0.025	0.013	2.89	0.63	0.53	0.088				

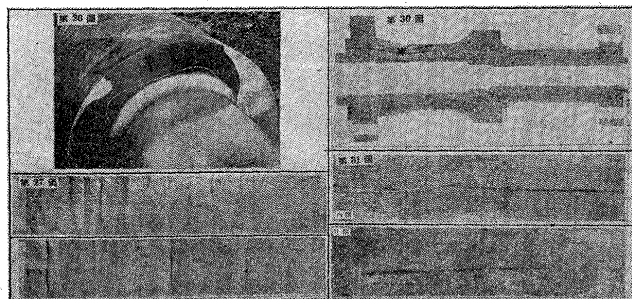
第 25 圖 各種合金鋼の偏析



本圖を参照すれば所要の鍛造物を作る場合豫め此有害なる偏析を去除するか又は之を適當なる場所に追ひ込む事が出来るから完全なる製品を作る事が出来る譯である。

然るに往々にして鍛錬當事者が之を等閑視する結果以外の失敗を招く事がある。以下之を例示する。

例 1 某製鋼所に於て重量 16t を有するニッケル・クロム鋼製ロールを鍛造し之を機械仕上せるに頸部仕上面に

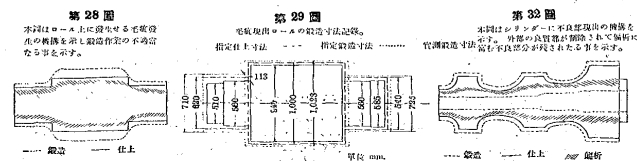


第 26 圖 重量 16t のニッケル・クロム鋼製ロールの頸部に露出せる偏析、斯る毛疵は普通白點と稱せられて居る。

第 27 圖 毛疵發生頸部の硫貼寫、毛疵は偏析部の露出に依り發生せる事を示す。

第 30 圖 水洩れを生じたる内径 45mm 高壓シリンダーの縦斷面に於ける硫貼寫、X 印は水洩れ箇所を示す。

第 31 圖 第 30 圖に示せる高壓シリンダーの水洩れ箇所より截取せる試験片。



第 26 圖に示す如き無数の小割疵を生じ之が爲廢却するの止なきに至つた。依つて此部分の偏析状態を検出する目的を以てロール切込部より頸部全面に亘り硫貼寫を撮取せるが其結果は第 27 圖に示す如く析出は本體と頸部との中間箇所にも多く現出し之に遠ざかるに従つて漸次減少するを見た。此硫貼寫と硫貼寫撮取箇所とを参照考慮して作成せる析出状態圖は第 28 圖に示す通りである。

之に依り上述ロール不良材に生じたる小龜裂が本體と頸部との中間に生じたる理由は次の如く結論する事が出来る

1. 原鋼塊中に存在せる析出を充分内部に追ひ込む事の出来得ざりし事。
2. 仕上寸法と實測鍛造寸法との間に著しき差あり、爲に鍛錬仕上の際には全く包含されて居た析出が仕上後其頸部から露出するに至つたものである (第 29 圖参照)。

此研究の結果豫め鋼塊のコーア部を穿孔し鍛錬に依つて析出を内方に追ひ込み實際鍛造寸法を仕上寸法に接近せしめたる結果斯る缺陷から免がるゝ事が出来た。

尙著者の見解を以てすれば斯るロールの製作にニッケル・クロム・モリブデン鋼を以てしても上述の弊害から脱する事が出来る。何となれば後者は前者に比し其原鋼塊内に於ける析出が著しく内部に偏して居るからである (第 13 圖参照)。

例 2 某窒素肥料會社使用の高壓シリンダー (常用壓力 750~800 氣壓) が普通 3 箇年の使用に耐ふ可きものが僅か 67 日後に於て水洩れして爲に廢却の止むなきに至つた。

試験の爲廢却シリンダーを縦斷し其斷面の硫貼寫を撮つた。之は第 30 圖に示す通りである。尙其水洩れ箇所より幅 25mm 長 200mm 實物の厚みを有する試験片を取り之を 20% 鹽酸にて煮沸腐蝕して其材質の檢定を行ひたるが其結果は第 31 圖に示す通りである。此試験の結果興味ある事には第 30 圖に於て濃いゴーストラインを現出せる箇所より採取せる試験片が腐蝕試験の結果第 31 圖に示す如く長大の縦割を生じ此部分より水洩れの起りし事である。

本試験の結果より見て高壓シリンダーの不良原因は鋼塊内部に存在する偏析が鍛錬の結果外部に押出され然かも仕上に際し外部の良質部が深く削り取られたが爲析出部を其

側面に生ずるに至つたものである(第32圖参照)。

之が改善策として豫め鋼塊を穿孔して内部析出に富む不良部を取除き然る後所定の鍛錬を行ひたる結果良好なる製品を造る事が出来た。

合金鋼に起る白點³⁾

Snow-flakes 又は flakes (米國)、hair-cracks 又は hair-lines (英國)、Flocken (獨逸)、及び cassures ligneuses (佛國)、と呼ばれて居る疵は、合金鋼鍛造物の製

³⁾ エー・ハルトグレン著:クロム鋼の白點或は毛細裂疵及軌條の破損部分及横裂疵の討究、ジャーナル・オブ・アイアン・アンド・スチール・インスティテュート誌、1925年、第111巻第1號、第113~118頁。

造者及検査者の間に、從來非常に注目されて來た。此疵は外觀上略圓形で光輝ある粗い結晶の點々をなし、大きさは種々で(2~20mm)熱處理した鍛造物の細い粒の破斷面上に認められる。又機械仕上面或は研磨面上では、線状をなし其幅は殆ど判定し難い。

白點に関する文獻

著者の目に觸れた白點に関する從來の文獻の簡単な一覧表は第1表に示した。

此の表を見れば、白點は主としてニッケル、ニッケル・クロム、クロム及タングステン鋼の如き合金鋼中に発見されるが隅々炭素鋼中にも発見される事もある。僅かの例外はあるも此白點は實は裂疵であると考へられて居る。

第1表 白點に関する文獻一覧表

著者	白點の現出せる鋼種	白點の性質及び外觀	製作行程に於ける白點發生の機構	白點の原因(白點の防止法)	備考
Clayton, Foley, and Lanev	鹼基性電氣爐乃至平爐鋼の砲身鍛材 C=0.38 Ni=2.9	普通龜裂といふより寧ろ弱點と稱す可きもの但或場合は割れを生ず。	鍛鍊前の加熱が富炭部を熔融し凝固後に弱い部分を形成する原因となる。	擴散速度が遅い爲炭素含有量の不均等、過熱	
Rawdon	Ni 鋼 C=0.40 Ni=3.5 Ni, Cr 鋼	粒狀結晶の切れ目で其面は軟粘性メタルの壓着された形状を爲すものである。隅角と端は圓く且平滑である表面は光澤なき程度の精仕上げである。	樹枝狀結晶の枝間の鋼滓に沿つて起る結晶界の收縮に依る裂疵の如き其鋼塊に因する。	鋼塊の大き、鑄型の設計、冷却速度及鋼塊内の冷却時の内力の分布等の不適當。	
McKinney	酸性及鹼基性平爐鋼、鹼基性電氣爐其他炭素鋼には殆ど一般的に見る。			注入温度の不適當。	
Mathews	Ni, Cr 鋼 C=0.40 Ni=3.00 Cr=0.80		熱間加工の終了後に出來る内部裂疵の連鎖からなる。発見された白點は鋼塊の孔からは始まつて居なかつた。其理由は加工の方面に並び寧ろ銀色の條痕となるからである。	鑄込温度が高過ぎる。壓延或は鍛錬温度が高過ぎる。	鍛錬で熔着出來る。
Knight	Ni 鋼		恐らく鍛錬中には出來ない(放射狀の配列)鍛錬せずに熱處理する場合即焼入温度迄迅速に加熱し、水中に焼入れ、急激に650°Cに熱し迅速に冷却した場合白點を生じた。		鍛錬で除去出來る。
Stevenson	Ni 鋼			Ni 鋼の旋盤屑を装入物に加へる迄は何等白點は起らなかつた。	
Unger	Cr 鋼、Ni 鋼 炭素鋼			鍛錬作業が正しくない。鋼塊の形状或は大きが不適當か鑄造法が不適當	
Traphagen	合金鋼 炭素鋼			旋盤屑又は鑛石を装入物中に加へ過ぎた爲鐵の高級酸化物が存在すること。	
Giollitti	テンダー合金鋼	結晶界裂疵	鋼塊中に裂疵として存在しない。白點は酸化性の夾雜物の影響で脱炭して出來たフェライト部に始まる。	白點の發生は、鋼の熔解作業、鑄造、浸熱、再熱、鍛錬及び熱處理に注意すれば阻止出來る。	
Styri	Ni 鋼 高炭素 Cr 鋼	殆何時も鋼滓の介在を伴ふ裂疵	鋼塊中或は次の熱處理及び鍛錬中に出來、熱處理中には出來ない。壓延中に出來熱處理中には出來ない。	主要な原因は鋼滓の介在である。	スタイリは此論文の中に於ては破斷面に現はれる種々の缺點に對し總括的に白點といふ語を用ひて居る。
Barba	砲身鋼鍛材			衆知の確固たる理論に基づいて熔解及造塊作業を行へば殆凡ての困難は實際的には阻止出來る。	

Hayward	Ni 鋼砲身鍛材		鋼塊の冷却中或は鍛錬中		
Miller		粒界に酸化物或は他の不純物の被膜が認められる。			漸次にニッケル含有量を3%から1%に減じ最後に0%にすれば追々白點は減少し遂に消失する。
Priestley		酸性及び鹽基性平爐鋼の白點は中央に夾雜物があるが電氣爐鋼の白點にはない。		下注法は白點を生じた。恐らく注入温度が高い爲であらう。他の原因は鋼塊の急激な冷却或は鑄込後に全然冷却することである。現今の作業方法は、早く鋼塊を抽出し、直ちに鍛錬用の加熱をし、餘り變態點から冷めない内に其鍛材を燒鈍爐に移す。	
Harbrecht		白點の中には夾雜物はないが時々白點の外側に沿つて夾雜物の小さな點線が認められる。			
Aitchison	航空機用ドロップフォージング鋼	時としては收縮裂疵及び孔に非金屬性の不純物がある。	凝固後鋼塊に生じ、ドロップフォージ中或は熱處理中には生じない。	何等治す方法も防ぐ方法もない。鑄造上の手配が良ければ毛細裂疵の數を本質的に減少する。	
Sommer and Rapatz	Cr 及び W を餘り多く含まない硬 Cr 及び W 鋼にも認められる。			鋼中に殘留する脱酸生成物に依つて鐵、炭素系の平衡状態圖が變化する爲起るフェライトの分離が原因となる。	
Schleicher	Ni, Cr 鋼 C=0.25~0.40 Ni=3.20~3.70 Cr=0.70 Mn=0.60~0.75	白點のある鋼には酸化物があり、此等は 940~950°C 水素中で還元することが出來た。			
Ashdown	合金鋼	横斷面に於ては毛疵として現はれ破面に於ては白點として現はる。	質量の大なるものに出來易い。	鋼塊の大きさに注意する事。鍛造物は緩慢冷却する事。	白點の出來た品物では其後の鍛錬に依り熔着出來る。
Benedicks and Lofquist	Ni, Cr 鋼	毛疵の總稱。	變態域通過に際し内部の異狀膨脹に起因する。	變態域に於ける緩慢冷却。	
武林誠一	合金鋼	横斷面に於ける毛疵及破面に於ける白點。	高温注型のものに出來易い但低温熔解のものは不可。	高温熔解と低温鑄込とを行ふ事。	低温鑄込は取鍋のノズルの徑に依り加減し得る。

白點の原因或は主要な原因に就ては、種々の意見が述べられて居る。其内には原料、熔解法、鑄造及注入法、鋼塊の形状大きさ及び冷却法、鍛工或は壓延前の加熱方法、熱間加工法、熱間加工後の冷却及熱處理法がある。數多の權威の意見に依れば白點は數個の因子の結付いた結果である。

以下述べんとする所のものは之等權威者の爲せる白點に關する幾多理論中特に重要なもの、二三に就てある。

異狀膨脹に起因する内部的龜裂が 白點の原因⁴⁾

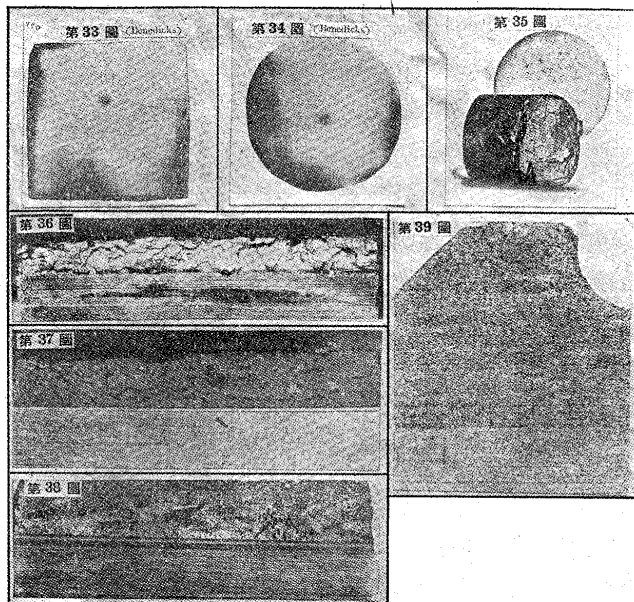
ベネデックス及びロフキスト兩氏は萬國工業會議の會報中に記載した「白點の起因」なる論文中に於て次の如く述べて居る。鍛錬前の温度の不均及び鍛錬後の冷却に當り Ar 點に於ける異狀膨脹は内部的龜裂の原因となるべく又此内部的龜裂が白點の實際の原因となるのである。

⁴⁾ ベネデックス及びロフキスト「鋼中の白點の原因」萬國工業會議前刷、東京(1929年)採鐵及冶金部、第2卷、第119~120頁。

假りに鍛錬が八角鋼塊から初められ、表面の温度が約 850°C に達する迄冷却されたとする。此場合鋼塊の内部はそれより更に 100°C 位高温であるべきは明かである。鍛錬を開始する前に、表面の冷却する爲鋼塊の内部は明かに非常に高い壓力を受ける。此壓力は勿論鍛錬しなければ生じたにしても冷却後には消失するが之を鍛錬すれば、此熱い内部は之より冷たい外部よりは多く伸展されるから此處に於て其壓力は減少され爲に全般鍛造物が同一の壓力となる譯である。

鍛錬後其鍛造物を空中で冷却させると假定すると内部は 100°C まで下降した時外部の冷い部分は同時に冷却するが之より低く 60° となる。故に此内部の收縮は 100 に比例して起り、外部の收縮は 60 に比例して起る。従つて内部と外部の收縮の差は温度の差 40° に相當して起る。1,000mm の長さをも有する大鋼塊の内外部の境界線を圓形とすれば之に相當する收縮の差は 0.5mm となる譯である。此差は非常に大きな歪に相當し、凝集力の弱いデンドライト間に放射狀の裂疵を充分起し得る程度のものである。

第 33 圖及第 34 圖は、4t 鋼塊 ($C=0.37$, $Ni=2.51$, $Cr=1.26$) を夫々前述の様な條件の下で約 300mm 角及び 300mm 丸に鍛錬した後之が肉眼腐蝕した断面を示したものである。



第 33 圖 ニッケル・クロム鋼 ($C=0.37$ $Ni=2.51$ $Cr=1.26$) 4t 鋼塊を 300mm 角に壓延し後之を空冷す。鋼片の横断面を強く腐蝕して白點を現出せしむ。
 第 34 圖 第 33 圖に示せると同一インゴットを 300mm 丸に壓延し之を空冷す。後鋼片の横断面を強く腐蝕して白點を現出せしむ。
 第 35 圖 間違ひの無い熔解と銘打つた鋼塊から任意に選出して出来た鍛造物に現はれた毛疵を示す。(Ashdown)
 第 36 圖 ニッケル・クロム砲身鋼材 (第 1 號) の破断面に現はれた白點。
 第 37 圖 ニッケル・クロム砲身鋼材 (第 2 號) の破断面に現はれた白點。
 第 38 圖 ニッケル・クロム砲身鋼材 (第 3 號) の破断面に現はれたる白點 (第 3 號)
 第 39 圖 第 36 圖に示す試料の破面に直角に截断面より撮取せる硫貼寫。

質量作用が白點の主要原因

アシュダウン⁵⁾ は白點の原因に就て次の如き意見を述べて居る。其原因が鋼塊に在るといふ點には殆ど疑ふ餘地もないが、或人達の唱へる様に、鍛造物が正しい處理を受けて居りさへすれば、或る特定の熔解の鋼塊は白點に對して不感性であらうといふが如き意見は承認出来ない。第 35 圖は此缺點は無いと證明された一熔解の鋼塊から任意

に選出して造られた鍛造物の一例である。

従つて偏析の多い鋼が白點を生じ或は多量に生ずると確然と結論を下す事は出来ない。といふのは次に述べるように、正當に取扱はれた鍛造物では質量作用が終局の原因となるからである。

同一熔解の鋼塊から大鍛造物と全く同一の條件の下で製造した横断面 75mm 未満の小型鍛造物は此等の缺點を有することは稀である。従つて此等の缺點は主として低い方の變態域を通過中或は通過後に起る冷却内力の結果であつて小断面に於ては張力の回復が一層容易であるが爲であると推定する事が出来る。

白點の成因と鑄塊法との關係⁶⁾

吳海軍工廠武林誠一氏は鑄塊法殊に注型溫度の研究により其成因の一つは注型溫度又は速度に關係あることを見出し之等を適當にして此缺陷を略防止し得る事を確めた。次に其研究の經過概略を掲ぐ。

第 1 例 70 吨鋼塊製造の場合に於て次の記録を得た。

注型時の樋 ノツヅル	50mm	45mm	48mm	46mm
注型時間	25'20	30'50	27'10	30'10
成 績	白點	良	材料試験不良	良

これより推論するときは樋のノツヅルの徑を大とし注型時間早き方白點出現の機會がある。

第 2 例 8 吨鋼塊にて荒延中に白點を出現した。これが注型記録を示せば

鋼塊分數	1/4	2/4	3/4	4/4
注型時樋の ノツヅル	34mm	34mm	34mm	34mm
時 間	7'25	7'15	7'40	7'55

1/4, 2/4 鋼塊は鑄型内に於て沸騰をなせり。鍛錬中大小の割疵を生じたるは注型溫度極めて高かりしを示す。熔解作業は極めて順調にして爐熱鋼滓共其状態良好なることより考ふるときは良好なる熔解作業を以てしても注型溫度適當ならざるときは白點を生ずる機會あり。

第 3 例 次に中實鍛錬により製造せる肉厚圓筒材につき注型状態と白點の出現状態を調査せり。

即注型溫度と良品及白點の關係

注型溫度	鋼塊數	良 品	白 點
高 溫	30	60%	40%
中 位	16	75%	25%

注型中湯面の状態と良品及白點の關係

⁵⁾ エッチ・エツチ・アシュダウン著、「合金鋼鍛造物に於ける白點」アイアン・エイヂ誌、1930年5月8日、第1380頁。

⁶⁾ 武林誠一氏著、白點の成因並に其防止法「鐵と鋼」第17巻、第5號、第457~463頁。

湯皮の有無	鋼塊數	良品	白點
無	45	61.5%	38.5%
有	21	69.8%	30.2%

次に肉厚圓筒材 23 本を各 16 噸鋼塊より製造したる際の成績を擧ぐれば第 2 表の如し。

第 2 表 注入温度と機械試験結果との關係

鋼番號	注出孔徑	注型時間、分	試験結果	鍛鍊法
A	29	14:20	白點	中空
B	30	13:10	〃	〃
C	27	16:30	良	〃
D	27	16:20	〃	中實
E	27	17:00	〃	中空
F	27	13:45	〃	〃
G	27	15:00	〃	〃
H	26	19:00	〃	〃
I	26	18:25	〃	〃
J	26	19:20	〃	〃
K	26	16:30	〃	〃
L	26	17:20	〃	〃
M	26	16:20	〃	〃
N	26	17:15	〃	〃
O	26	18:40	〃	中實
P	26	15:55	〃	〃
Q	26	15:05	〃	中空
R	26	15:45	〃	中實
S	25	16:40	〃	〃
T	26	16:20	良	中實
U	26	15:45	〃	〃
V	26	15:50	〃	中空
W	26	27:20	白點	中實

以上試験の結果武林氏は次の如く結論して居る。

1. 白點の主なる原因は注型時に出來たる結晶粒に關係あるものにして、高温注型をなすときは結晶粒粗大となり且鋼塊凝固の際は高温なる程内外の凝固速度一様ならず、鋼塊内部にストレスを生じ之が爲に結晶粒の周圍に弱點を生ず。これが白點の素因をつくる。

2. 白點の防止法としては製鋼作業中充分高温にて熔解を行ひ適當の温度にて注型し鋼塊のデンドライト粒を細かくする事に努むるを要す。

此注型温度は Ni-Cr 鋼の場合には 1, 520~1, 540°C を適當とす。

偏析と白點との關係

白點の原因は鋼塊凝固時に形成さるゝ偏析の有無に關係するものと然らざるものとある。著者は此兩者の場合に起る白點に就き自己の経験よりして論述せんとするのである

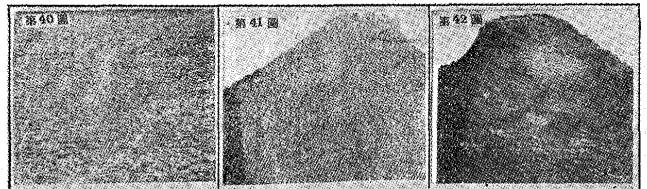
第 28 圖に示すものは 16 噸の重量を有するニッケル・クロム鋼製ロールが其頸部が洞に接する部分に於て幾多の毛疵(白點)を發生せるものである。其原因を探究する目的を以て第 27 圖に示す如く毛疵の部分に沿ふて硫貼寫を撮取せるに毛疵に相當する部分に於て明かに偏析の存在を認めたる。依て此毛疵の原因は本ロールの粗材鍛鍊に當り不

適當なる作業の爲第 28 圖に示す如き鋼塊内部の偏析を外部に露せるに至りしもので、即ち此偏析部に沿ふて弱點を生じそれが白點の因を爲すに至りしものと推定する事が出来る。

次に偏析にそれ程關係する事無しに發生した白點に就て例示せん。

第 36, 第 37, 第 38 圖に示すものはニッケル・クロム砲身鋼に發生した白點を示す破面である。之等試片の偏析状況を確むる目的を以て其硫貼寫を撮取せるが其結果は第 39, 40, 41 圖に示す通りである。

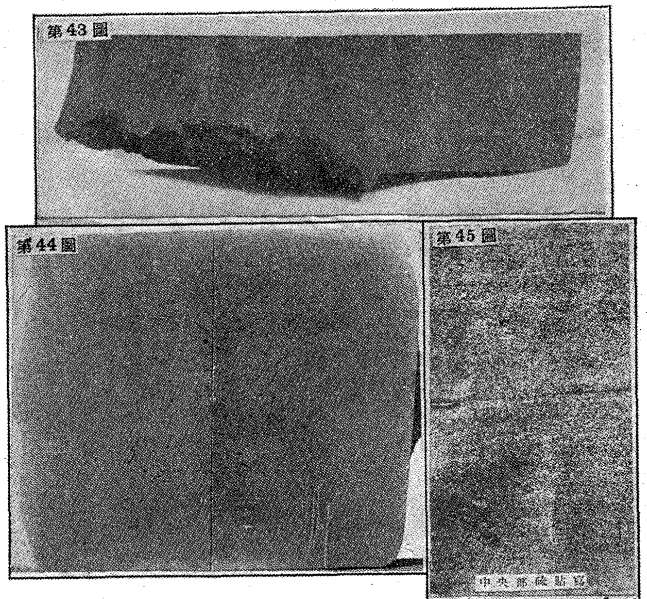
之等の結果を見るに何れも特に著しき偏析あるを認め得ず。斯る點より見て之等白點の原因は偏析の有無如何よりも寧ろ鋼塊鑄込時の熱度の影響及び鍛鍊後の冷却速度の如何等他の因子に關係する事大なるものゝ様である。



第 40 圖 第 37 圖に示す試料の破面に直角に截斷せる断面より撮取せる硫貼寫。

第 41 圖 第 38 圖の試料の破面に直角に截斷せる断面より撮取せる硫貼寫。

第 42 圖 第 39 圖に示す試料を其硫貼寫撮取後鹽酸にて強く腐蝕す。



第 43 圖 第 40 圖に示す試料を其硫貼寫撮取後鹽酸にて強く腐蝕す。

第 44 圖 Mn 1.2% を含有する低炭素鋼 15t 鋼塊を 200mm 角に壓延し空冷せるものゝ横斷面を鹽酸にて腐蝕す。

第 45 圖 第 44 圖に示す鋼片の断面と同一面より撮取せる硫貼寫。

白點の検出法

白點検出の普通の方法は疑はしき試験片に切込みを入れて破断し其破面を検するのであるが、其場合第 36, 37, 38 圖等に示す如き特殊の破面を呈するものは白點と稱するのである。又製品の白點検出に際しては擴大鏡を以て表面検査を行ひ其毛疵の有無を検出するのであるが之には可なり経験を必要とする。最も簡便に然も小試験片に行ひ得る方法は鹽酸(又は硫酸)の 10~20% 溶液に強く腐蝕して見る事である。若し白點が存在する試験片ならば例へ擴大鏡を以て検出し得ざる程の微かの毛疵にても容易に割疵として検出する事が出来る。第 42~43 圖は夫々第 39 圖及第 40 圖に示す試験片の面を仕上げせる上、之に上述の酸腐蝕を行ひたるものなるが何れも其仕上面に於て發見する事を得ざりし程に熔着した割疵が腐蝕の結果擴大せられて多數現出せしものである。又製品に現はれた毛疵等が餘りに微細にて擴大鏡を以てして検出し兼ねる場合等に少量の酸を塗布すれば毛疵は擴大せられ容易に検出する事が出来る。

鍛錬後の冷却と白點

著者は鍛錬後の冷却速度が鋼材の白點に及ぼす影響に就き次の実験を行つた。

Mn 約 1.2% を含む鹽基性平爐製中炭素鋼 1.5t 鋼塊を 200mm 角に荒延べし之を空冷せるものより任意試験片を截断し其横断面を機械仕上し之を 20% 鹽酸を以て強く腐蝕せるに第 44 圖に示す如き腐蝕面を得た。即ち内部一面に不規則方向に走る無数の割疵を現出したのである。之は所謂白點と稱するものなる故之が原因を探究する目的を以て次の如き試験を施行した。

1. 白點を現出せる部分を機械仕上して其部分の硫貼寫を撮取して其偏析状況を觀察した(第 45 圖)此結果本鋼塊は普通一般鹽基性平爐鋼塊に比してより多量の不純物を含有する事を認めた。

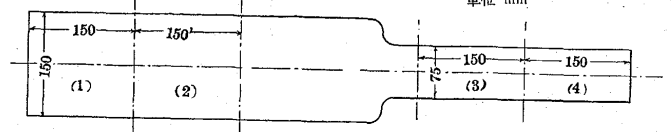
2. 白點を現出せる上述 200mm 角鋼片を約 1,100°C 迄加熱し之を壓延して 150mm 角となし之より長さ約 150mm の試験片 2 個を截断し、次に試験片を截取せる残りの 150mm 角棒は直ちに之を壓延して 75mm 丸棒となし之より長さ 150mm の試験片 2 個を截取した。

以上試験片截取位置を圖示すれば第 46 圖に示す通りで

ある。

第 46 圖

試験片を截取せる鋼片の位置を示す。單位 mm

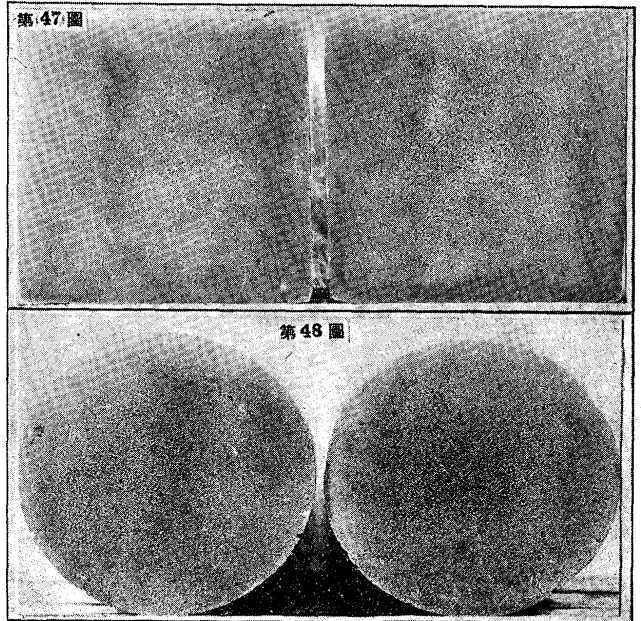


圖に示す試験片 (1) (3) は之を鋼の變態溫度以上の熱度を有する燒鈍爐に裝入徐冷し又試験片 (2) (4) は之を其儘放置空冷した。因みに各工程に於ける鍛材溫度を參考迄に示せば次の通りである。

試験片	鍛錬溫度	仕上溫度	燒鈍爐裝入時溫度
150mm 角	1,116°C	920°C	700°C
75mm 丸	920	1,000	700

燒鈍爐溫度 720°C 冷却時間 13 時間 材料取出時爐溫 185°C

以上 4 個の試験片は冷却後之を切斷して其横断面を機械仕上し 20% 鹽酸にて強く腐蝕せるが其結果は第 47 圖及第 48 圖に示す如く爐冷せる試験片は何れも白點を生ぜざりに係らず空冷せるものは判然として白點を現出せり。



第 48 圖 第 47 圖に示す鋼塊は之を徑 75mm の丸棒に壓延し(第 46 圖に示す如く) 一片は之を空冷し(右)他は爐冷し(左)後兩試験片の断面を鹽酸にて強く腐蝕して白點の有無を検す。

第 47 圖 第 44 圖に示す鋼片は之を 150mm 角に壓延し其一片を空冷し(右)他の一片を爐冷し(左)後之等断面を鹽酸にて強く腐蝕して白點の有無を検す。

本實驗の結果よりして著者は次の如き結論を得た。即鍛材に現はるゝ白點が鋼中の不純物又は其偏析に關係ある事は言ふ迄もないが之は鍛錬後の徐冷に依り大部分消失せしむる事が出来る(但鋼材の種類に依り難易の差がある)一

度出來た割疵も之を高溫度に於て鍛鍊すれば容易に鍛接せしめ得可く其後に冷却を適當に行へば此缺陷より免がれ得べし。

總 括

熔解作業の不完全に基く鋼滓の介在析出が白點形成の第一原因であるといふ事は數多の學者に依り強調された所であり又著者も實際に立證した所である。然し之は必ずしも白點の必須條件ではない。樹枝狀組織間に附着力の弱い點があれば之は充分に低抗張力を示す原因となる事は已にバーテン・ハウエル・ライトナー及びアイヒホルツェルに依り證明された所である。而して武林氏は實驗に依り樹枝狀組織の大きさ(従つて其粒子相互間の附着力の弱き事)は鑄込溫度の高過る爲其冷却時間が長引く爲に増加するものなりと推論して居る。

白點の主要原因が鍛鍊後の冷却速度に重大關係を有する事に就ては先にヒュルトグレン氏に依り提唱せられ由來我國に於ては専ら吳工廠に於て幾多の實驗が行はれたと聞いて居る。之はベネデックス氏の鋼の變態點通過時に行はる

ゝ異狀膨脹に起因するものなりとの理論と一致したもので此點に關する著者の實驗は其最重要原因たる事を立證して居る。

アツシュダウン氏は白點の重要原因は質量影響に依るもので 75mm 以下の小鍛鍊片は殆ど斯る缺陷を有せずと論じて居る。之もベネデックス氏の異狀膨脹説と相俟つて鋼片の冷却に際し内外溫度の差より起る歪みに起因するものと見る事が出来る。

白點は熱處理に依て癒す事は絶対に出來ぬ事は一般學者の認むる所であるが然し再加熱再鍛鍊に依り之を消失せしめ得る事はアツシュダウン氏其他の學者の認むる所で著者の實驗も亦立證して居る。

要するに白點は一種の割目であるから之を熔着すれば良いのであるが、合金元素を含有する鋼の熔着性は普通炭素鋼に比して困難なる故之が再加熱及び再鍛鍊等は餘程慎重に行ふ必要がある。

白點の檢出に鹽酸又は硫酸の腐蝕法を施行する事は最簡便にして有利の方法である。

國 際 材 料 試 驗 協 會 の 狀 況

同協會の昭和 8 年 9 月以降の會務を抄記す。調査委員會の現在數は、A 類 鑄鐵 Körber 氏(獨)切込靱度 Forcella 氏(伊)、B 類 セメント、D 類 機械的性質の術語統一、上記委員會の或者は既に第 1 回報告を提出せられたり。1934 年 1 月までには全委員會は何れも調査にせられ度希望す。調査委員會に於て研究せらるる以外の事項は常設委員會に於て取扱ふ。但經濟的困難あるため前田總會(1931 年)に於ける如き論文前刷等は印刷せざるべし。

1935 年 ロンドン總會に於ける討議題目、A 類 金屬(分科會長 Benedicks 氏)、1) 金屬に於ける機械的並に化學的影響、2) 金屬組織學の進歩、3) 輕金屬及び其の合金、4) 溶接、5) 疲勞、B 類 非金屬無機物、D 類 一般的問題、1) 實驗室試驗結果と實地構成及び建築實驗との關係、2) 材料に就て物理化學及び意義の新進歩、3) 熱及び音の絶縁に適する建築材の性質

(昭和 10 年 1 月附京都帝國大學、西原、近藤兩氏報告)