



# 白點の防止法に関する二三の實驗

(日本鐵鋼協會第 15 回講演大會講演)

谷 山 巖\*

## SOME EXPERIMENTS ON THE PREVENTING PROCESS OF THE FLAKES.

J. Taniyama

**SYNOPSIS:**—The most difficult problem in the steel manufacture is flakes. The causes and remedies of the flakes have been discussed by many authors, but their opinions were not the same, ie segregation, oxide, blowhole, cooling-stress and hydrogen etc. However the author have investigated that cause of flakes is related to segregation and it depends upon melting, casting, forging and heat-treatment. The author believes the following are the most important factors to prevent the flakes.

1. High temperature and long time melting
2. Quiet Casting
3. Long time preheating of ingot
4. Slow Cooling after forging and heattreatment.

### 目 次

- I 緒 論
- II 白點の成因
- III 白點の發生し易き條件
- IV 白點の防止法實驗
  - 1. 白點の防止條件 2. 熔解作業 1) 製鋼爐條件 2) 鹽基性電氣爐築造法 3) 鹽基性電氣爐作業法
  - 3. 鑄造作業 4. 鋼塊の豫熱 5. 鍛鍊作業 6. 熱處理作業
- V 白點の検査法
- VI 結 論

然し單に豫熱するだけにては完全に割れを除去することは出来ない故に、之を壓鍊すると割れの部分が熔接さるのである。又良鋼にても鍛鍊及び熱處理後の冷却作業が適當でなければ發生するものである。

要するに白點は鋼塊鑄造作業及び鍛鍊又は熱處理後に起るものであるから、白點問題を研究せんとすれば鋼の製造し始めより加工し終り迄に至るすべての影響を研究せねばならぬ。

## I. 緒 論

製鋼作業中にて最も、難解なる問題は白點であるが、其白點の成因に就いては第1表の如く學說區々にして未だ明確なる定説とならず、今尙ほ世界中の問題の中心となつてゐるのである。従つて其防止法に就いても種々議論されてゐて決定的結論に達してゐないやうである。

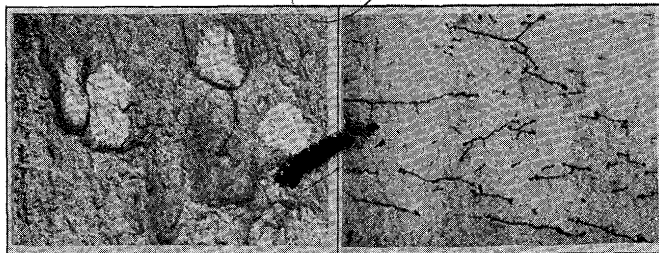
然るに著者が獨逸製鋼株式會社技師オートー、クラ博士の指導を受けて研究せし所によれば白點は凝離に起因するものであり、従つて白點を防止するには凝離をなくするにある。而して凝離をなくするには熔解作業に於て出来るだけ不純物を除去して純度高き鋼質のものを造り、次に鋼塊を充分豫熱して凝集せる不純物を擴散せしむべきものである。

## II. 白點の成因

白點は鋼塊及び鍛鍊鋼の内部に發生する割れ目であつて第1圖の如く常に扁平なる圓形又は橢圓形をなし周圍の母體より白く光つてゐる。而して其横断面は第2圖の如く毛狀龜裂として表はれる。これが發生する時は其鋼材全體に發生するものであり、而して其材料は第2表の如く材料試験成績極めて悪き故に、其鋼材は使用することを避けねば

第1圖 白點

第2圖 白點龜裂 (×0.635)



ならぬ。(鋼塊は前者は 3t、後者は 850kg である)

\* 川崎造船所製鋼工場

第 1 表 白點成因に關する學說

學 說	研 究 者	發 表 年 次	發 表 雜 誌
鍛 鍊 後 冷 却 張 力	E. Mauer	1,911	St. u. E. 8. Juni S. 911
"	B. Strauss	"	Unveröffentlicher Bericht No.25
"	E. Mauer	1,917	St. u. E. 29. Sep.
"	Eilender & Kiessler	1,932	V. D. I. 76 S. 729
"	H. Ashdown	1,933	Metal Progress 24. S. 113
脫 酸 成 生 物 及 鋼 滓	Haaken Styri	1,919	Chem & Met Eng. Vol. 20. S. 1,708
酸 化 物	Giolliti	"	Chem & Met Eng. March 15
"	Sommer & Rapatz	1,922	St. u. E. 42. S. 1,708
"	Schleicher	1,934	Met. progress 25. p. 38
"	Rapatz	1,923	St. u. E. No. 37
凝 離	Axel Hultgren	1,925	Fernk. Ann. 9. S. 1,109
"	P. Bardenhauer	"	St. u. E. 45. S. 1,782
"	Aichho'zer	1,928	St. u. E. 48. S. 1,334
"	Rapatz & Pollak	1,934	St. u. E. 47
"	Otto, Kukla & 1) 著者	1,935	鐵及鋼鑄物 p. 486
瓦 斯 氣 泡	Oerter	1,928	St. u. E. 48. S. 1,334
"	Mauer & Korschan	1,933	Met. Progress. 24. S. 113
一 酸 化 炭 素	J. H. Whiteley	1,926	Iron & Steel Inst Oct. 22
水 素	Müller & Schenk	1,928	Unveröffentlicher Arbeit aus dem 1,928
"	Hurbert, Bennech Herman, Schenck Heinrich Müller	1,935	St. u. E. Heft. 12
凝 離、銀 鍊 張 力	E. Houdremont	1,935	St. u. E. 55 Heft 11
變 態 張 力 及 含 有 瓦 斯	H. Korschann		
過 還 元	J. H. Whiteley	1,927	Trans. Amer. Soc. Steel Inst 12
"	Tyshnoff	1,934	Metallurgy S. 3
フ エ ラ イ ト の 擴 散	Charless. G. Clayton	1,919	Chem Met. March 1
鑄 造 物 内 の 質 量 作 用	Ashdown	1,930	St. u. E. 48
注 湯 時 に 於 ける 結 晶 粒	武林誠一	1,931	鐵と鋼 第 17 年 第 5 號
ク ロ ム カ ー バ イ ド	E. Piwowarsky	1,934	Allgemeine Metallkunde. S. 118

白點は往々收縮割れやヘヤークラック等と混同され易いが、白點は普通の牽引龜裂による焼割れ、鋼塊の縦割れ横割れ又は其他の熱龜裂とは全く異つた性質のものである。即ち收縮割れは第7圖の點線及び第8圖の外部の龜裂の如く一次結晶境界面に沿ふて起る龜裂であつて所謂 intergranular であるが、白點は第7圖の實線及び第8圖の内部の龜裂又は第9圖の龜裂の如く一次結晶粒境界面を貫通する龜裂であつて所謂 intragranular である。

今熔鋼を鑄型に鑄入する時は先づ最外部は急に凝固して固體となるも、内部は未だ液體の状態であつて漸次中心に向つて層をなして

第 2 表 白點ある鋼と白點なき鋼との比較

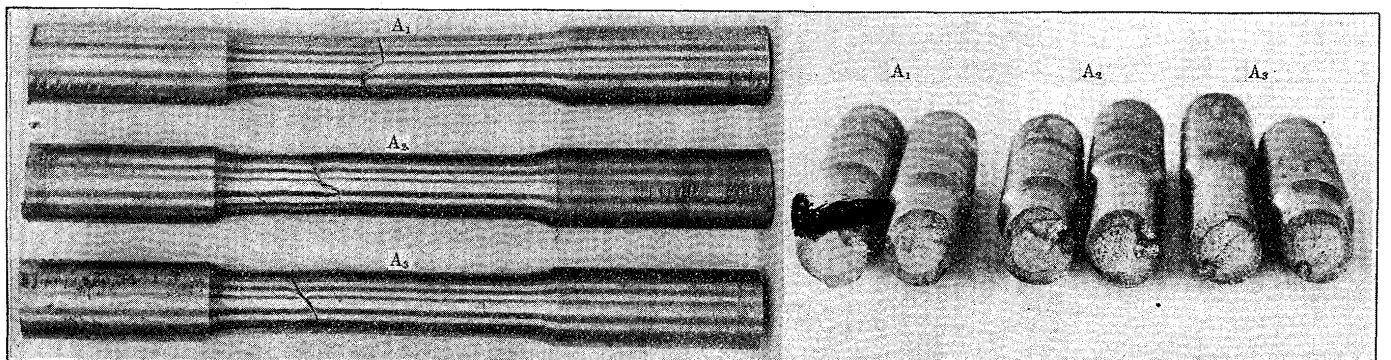
I. 白點ある鋼		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo
符號	位置	0.18	0.30	0.54	0.017	0.004	4.07	1.37	0.92	0.35
		抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	延伸率 %	絞捲率 %	シャルピー kgm/cm <sup>2</sup>	松村式 繰返試験				
A 1	頂部	114.8	5.0	8.67	3.00	8,124				
2	"	115.9	3.0	4.08	2.50	7,301				
3	"	112.2	4.0	8.17	3.00	8,205				
B 1	底部	125.0	10.0	16.8	5.50	14,538				
2	"	126.3	10.4	20.9	7.00	15,550				
3	"	125.5	12.4	23.0	8.00	16,540				

II. 白點なき鋼		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo
符號	位置	0.20	0.23	0.58	0.017	0.005	4.45	1.53	0.80	0.20
		抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	延伸率 %	絞捲率 %	シャルピー kgm/cm <sup>2</sup>	松村式 繰返試験				
C 1	頂部	138.3	11.2	57.5	12.2	20,139				
2	"	138.5	10.9	54.6	11.0	21,005				
D 1	底部	143.7	12.6	54.4	12.6	23,627				
2	"	140.2	13.0	57.4	12.5	23,800				

1) Otto Kukla

Was Bezweckt Eine Richtize Vorwaermung der Blocke zum Walzen bezw. Schmieden (非賣品)

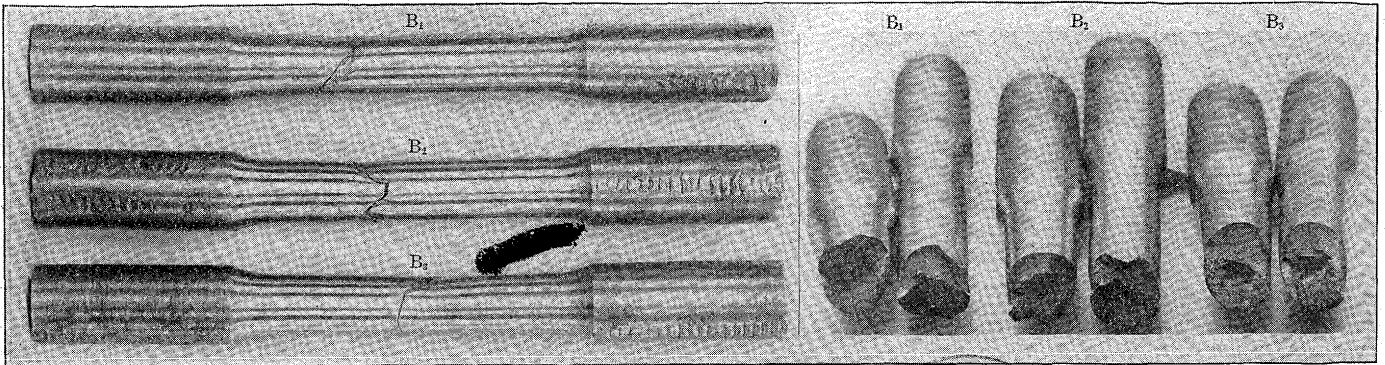
第 3 圖 白點大なる試験片(頂部) ×1 を 0.77 に縮寫



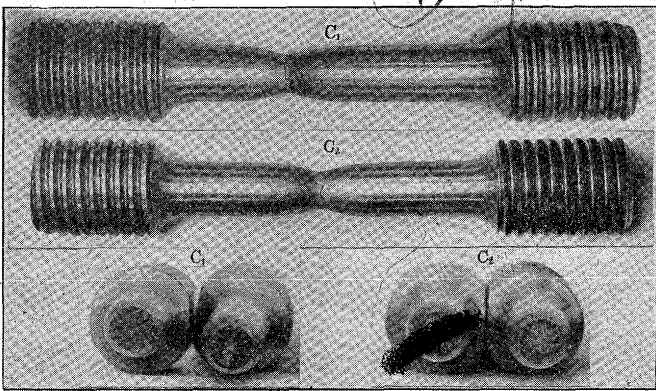
15 x 57 = 8.55

57x15=8.55 <sup>16</sup> (生)

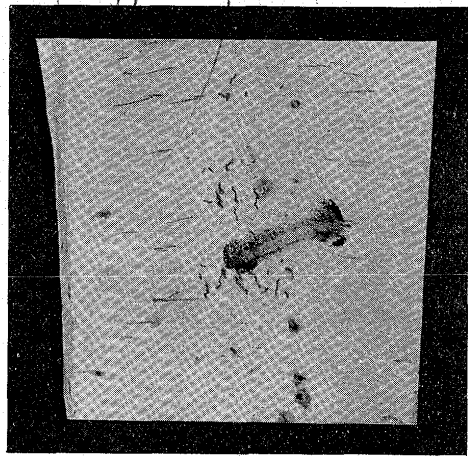
第 4 圖 白點小なる試験片(底部) ×1 を 0.77 に縮寫



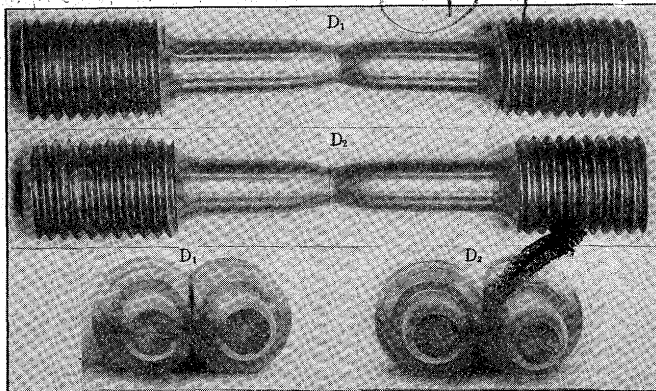
第 5 圖 白點なき試験片(頂部) ×1 を 0.53 に縮寫



第 8 圖 白點と收縮割れ(内部)(外部) ×1 を 0.65 に縮寫



第 6 圖 白點なき試験片(底部) ×1 を 0.53 に縮寫



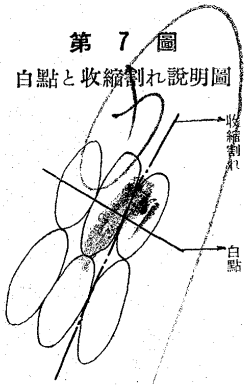
んど純鐵に近きものであるが、内部に行くに従つて炭素其他の不純物の量を増す故に、最後に凝固する部分即ち中央部は不純物を凝集するのである。純鐵には凝離はないが不純物を増すに従つて著しくなる。それ故に變態點は刻々に變る。此成分並に變態點の差異は容積の變化を伴ふものである。又容積の變化は必ず内張力を伴ふ故に鋼材が此張力に耐へ得ない時は割れるのである。而して凝固後に於ては結晶境界面よりも結晶それ自身が弱き故に結晶を貫通し

第 9 圖 鑄造鋼塊内の白點 ×1 を 0.65 に縮寫



第 7 圖

白點と收縮割れ説明圖



順々に凝固して行くものである而して内部が凝固する時は外部は既に冷却凝固せる故に、大なる收縮を起し内張力が最も弱い一次結晶境界面に働いて割れるのである。冷却急なれば急なる程收縮割れが大きい。この割れ目は結晶が大きくなる前に發生

したもので必ずしも最も弱い結晶粒境界面に起るのである。即ち intergranular となるのである。

次に凝固せる鋼塊の最外部は炭素其他の不純物の少い殆

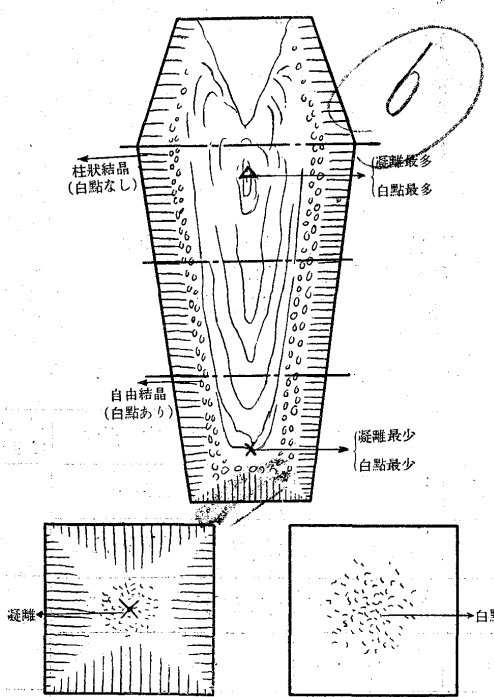
— 8 — 21x27=567

(五)

27X44=11.88

て割れるのである。即ち intragranular となるのである  
 前述せし如く最外部の柱狀結晶は非常に密であつて不純物  
 を含まず純粹なる故に、第 8~13 圖の如くこの中には  
 白點は生じないで柱狀結晶と自由結晶との界より内部に生  
 ずるのである。又第 2 表及び第 10~11 圖にて明らかなる  
 如く鋼塊の下部は中部及び上部より白點は少く、最も不純  
 物多き鋼塊本體の上部 1/3 の部分に白點を最も多く生ず  
 る故に、鑄造鋼塊の不純物と凝離とは白點組織に關與する  
 といふ結論を得らるゝのである。それ故に鋼塊が大なれば  
 大なる程凝離大なる故に白點を發生する機會が多いわけ  
 である。普通凝離とは C, Si, Mn, P 及び S 等の元素の凝集  
 せるもの及び  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  及び  $FeO$  等の如き非金属質  
 不純物の凝集せるものを總稱してゐるが、金屬元素は比較  
 的擴散し易いが非金属質不純物は擴散し難き故に白點の發  
 生に對しては非金属質不純物が主として影響するものであ  
 つて金屬元素の影響は少い。それ故に此處にて凝離とはす  
 べて非金属質不純物の凝集せるものを意味するのである。

第 10 圖 鋼塊の凝離と白點との關係



白點は凝固後發生するものであるが大體何度位にて發生  
 するかといふに  $Ar_1$  ( $700^{\circ}C$  位) より生じ初めるが、其程  
 度少く  $350\sim 200^{\circ}C$  の範圍の時最も多く生ずる。而して  
 $100^{\circ}C$  以下にては全く生じない。これは凝離部分のオース  
 テナイトは完全にソルバイト又はパーライトに變化し切れ  
 ず其一部は  $350\sim 200^{\circ}C$  まで残る故に、此の溫度範圍の  
 時急冷すれば残留せるオーステナイト組織がマルテンサイ

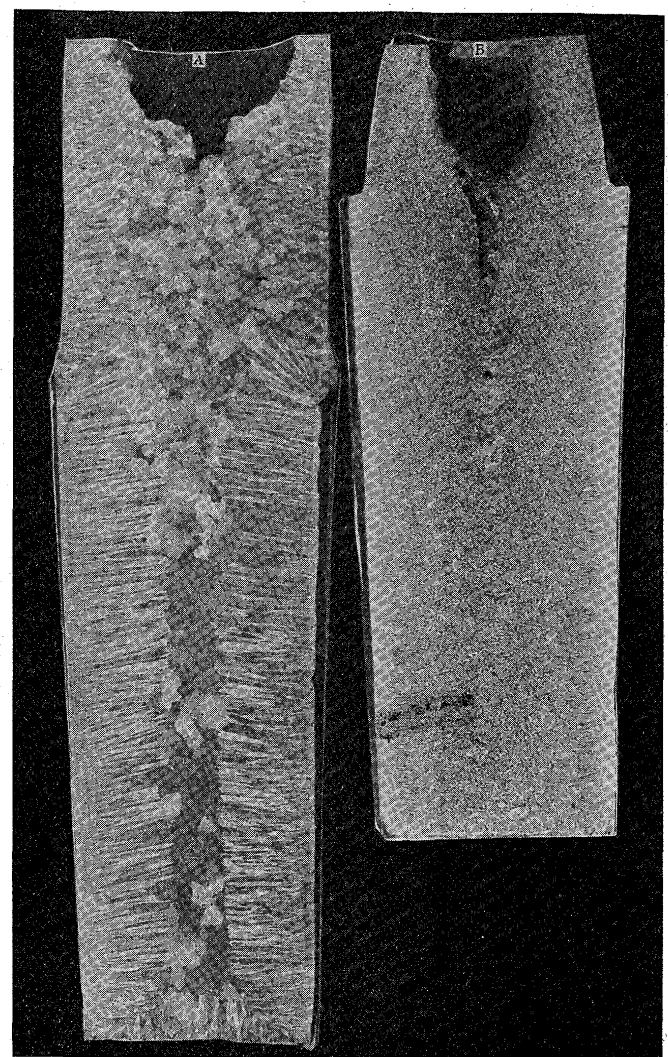
第 11 圖 (A)

高ニッケルクロム鋼鑄造組織

第 11 圖 (B)

VCN-35 鋼鑄造組織

×1 を 1/2 に縮寫



鋼塊の切斷面肉眼組織

ト組織になるから、既にパーライト又はソルバイト組織に  
 變化せる周圍部分の體積を縮少することゝなる。それ故に  
 龜裂を生ずるのである。然るに此溫度範圍を緩慢冷却すれ  
 ば凝離部分のオーステナイト組織はマルテンサイト組織と  
 ならず、凝離しない部分と共にソルバイトに變化する故に  
 體積の變化が起らず従つて白點を生じないのである。第  
 15 圖は第 14 圖に現はれたる白點組織附近の顯微鏡組織  
 を示すものである。これは次の如き成分の Ni-Cr 鋼を  
 1/4 に鍛鍊せしものを熱處理後現はれしものである (鋼塊  
 は 3t)。第 15 圖及第 16 圖は白點が微に表はれし所を稀  
 硝酸にて軽く腐蝕せしものであるが、第 17 圖は 50% 鹽  
 酸にて  $100^{\circ}C$  に 30 分間浸蝕して白點を明らかに表せし  
 ものである。

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0.25	0.20	0.54	0.020	0.006	3.35	0.7

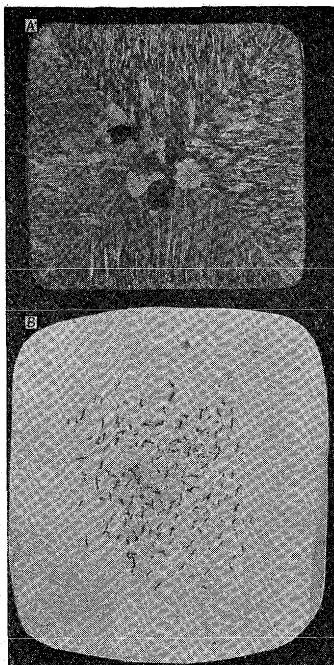


28x28=784

6 4<sup>8</sup> x 27 = 1107

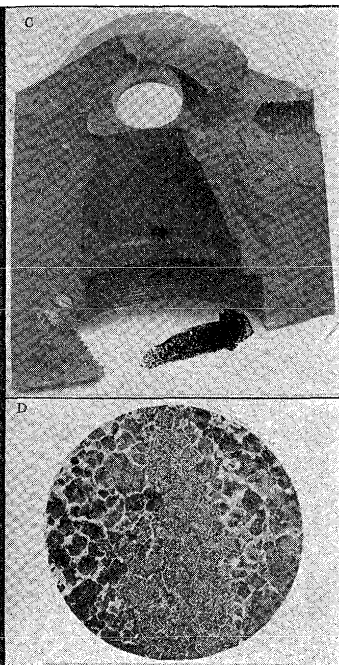
第 12 圖

高ニッケルクロム鋼の鑄造組織 外部柱狀組織及び中心部不純物の凝離 (×1)

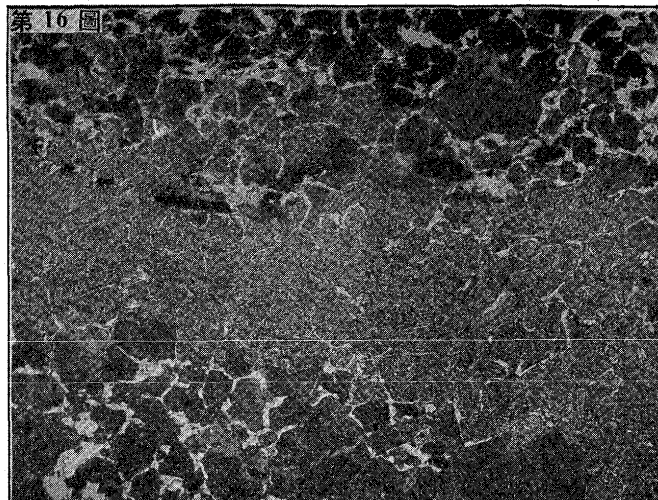


第 14 圖

ニッケルクロム鍛錬鋼に現はれたる白點 (1/2×)



第 16 圖 白點附近の組織 ×100  
硝酸腐蝕



第 13 圖 鍛錬比 3 倍

鋼塊の中心部に表はれたる白點 (×1)

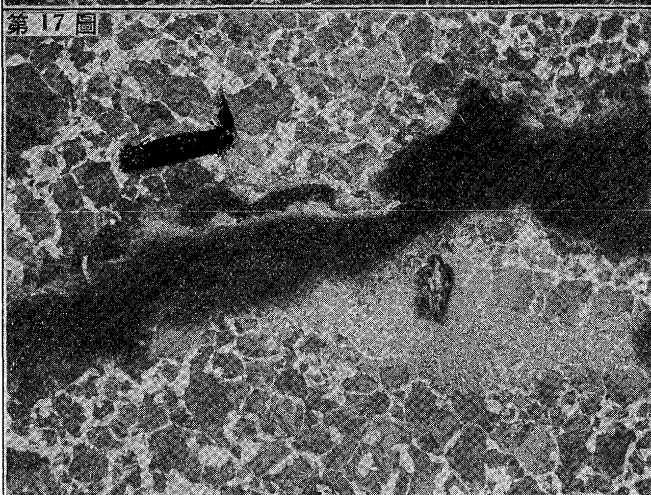
第 15 圖 (100)

白點組織附近の顯微鏡組織白點部(マルテンサイト)周圍部(ソルバイト及パーライト)

(以上は 1/2 に縮寫したるもの)

III. 白點の發生し易き諸條件

白點は精鍊、鑄造、鍛造及び熱處理の各階梯に於て起るものであるが、其發生し易きプロバビリチーを示せば第 3 表



第 17 圖 白點附近の組織 ×100  
50% 100°C 鹽酸 1/2 時間侵蝕  
(以上寫眞は 0.6 に縮寫せり)

第 3 表 白點發生に對するプロバビリチー

名 稱	精 鍊	鑄 造	豫 熱	鍛 造	熱 處 理	實 例 (成 分)	プ ロ バ ビ リ チ ー
精鍊不良なる場合	× 不 良	× 不 良 (白點發生)	× 良 (白點發生)	× 良 (白點發生)	× 良 (白點發生)	第 21 圖 (Ni-Cr)	10
	× "	× 良 (白點發生)	× "	× "	× "	第 2 表 (NiCrWMo)	
鑄造不良なる場合	良	× 不 良 (白點發生)	× 不 良 (白點發生)	× "	× "	第 11 表 b (VCN 35)	6
	"	× "	× 良 (白點發生)	良 (白點なし)	良 (白點なし)	" ( " )	
豫熱不良なる場合	"	良 (白點なし)	× 不 良 (白點發生)	× 不 良 (白點發生)	× 良 (白點發生)	第 13 表 ( " )	4
	"	"	× "	良 (白點なし)	良 (白點なし)	" ( " )	
鍛造不良なる場合	"	"	良 (白點なし)	× 不 良 (白點發生)	× 良 (白點發生)	第 44 圖 b ( " )	2
	"	"	"	不 良 (白點なし)	良 (白點なし)	" ( " )	
熱處理不良なる場合	"	"	"	良 (白點なし)	× 不 良 (白點發生)	第 45 圖 (Ni-Cr)	1
	"	"	"	"	良 (白點なし)	第 2 表、第 28 圖	

の如きものである。即ち精鍊不良なる場合は如何なる作業を施すも白點は發生する故に、純度高き優秀鋼を製造するが先決問題である。精鍊不十分に非金屬質介在物が多ければ之が結晶核となつて非常に大きな結晶を形成する。従つて凝離の度合も大きいのである。然るに之に反し良く脱酸されたる場合は結晶核なき故に凝固する際に過冷却を起して極めて急に冷却する結果結晶が極めて小さくなる。それ故に良く脱酸して置けば凝離が殆んどなく従つて白點も現はれないのである。即ち製鋼作業の巧拙は鋼材の運命のすべてを解決するものであるから、其作業法の研究は極めて重大である。實に白點發生の如何は製鋼技術者の手腕に俟つこと大である。精鍊良好にして鑄造不良なる場合は次の作業にて防止し得る。精鍊、鑄造共に良好にして豫熱不良なる場合は或程度まで鍛造作業にて防止し得る。又鍛造のみ不良なる場合に發生することあり又せぬことがある。熱處理作業に於ては其發生する率は少い。

次に白點の發生し易き鋼質について述べれば、酸性平爐鋼及び酸性電氣爐鋼は鈍感であるが、鹽基性平爐鋼及び鹽基性電氣爐鋼は鋭敏である。殊に鹽基性弧光式電氣爐は極めて鋭敏である。尙ほ濃カーバイド鋼滓によるものは一層鋭敏である。又坩堝鋼にも發生するものであり、高周波電氣爐も鹽基性のものは鋭敏である。次に 30 種の  $Ni \cdot Cr$  鋼に就きて研究せしに第 4 表の如き數値を得たのである。

第 4 表 製鋼法と白點の關係

製鋼法	感度	30種中の發生件數	プロバビリチー
酸性平爐鋼	極めて鈍感	2	1
酸性電氣爐鋼	鈍感	3	2
鹽基性平爐鋼	鋭敏	5	3
鹽基性電氣爐鋼	極めて鋭敏	7	4
カーバイド鋼滓製鋼	" "	9	5

又化學成分より論ずれば炭素鋼は極めて鈍感であるが、 $Cr$  鋼は稍々鈍感であり  $Ni$  鋼及び  $Ni \cdot Cr$  鋼は鋭敏である。殊に  $Mo$  を含むものは極めて鋭敏である。又高級合金鋼になる程鋭敏であるが  $Mo$  を含むものが最も鋭敏である。 $Mn$  鋼及び  $Ti$  鋼は  $Cr$  鋼の程度であり  $W, V$  及び  $Co$  等は  $Ni$  鋼に匹敵するが  $Si$  及び  $Al$  を添加せるもの

第 5 表 化學成分と白點との關係

鋼質	感度	40種中の發生件數	プロバビリチー
炭素鋼	極めて鈍感	0	1
$Cr$ 鋼( $Mn, Ti$ )	鈍感	3	2
$Ni$ 鋼( $W, V, Co$ )	鋭敏	11	4
$Mo$ 鋼( $Al, Si$ )	極めて鋭敏	15	6

は  $SiO_2$  又は  $Al_2O_3$  を形成して擴散極めて困難なる故に

甚だ危険である。次に鹽基性電氣爐にて製造せし種々の鋼質のものを夫々 40 種につきて研究せしに第 5 表の如き數値を得たのである。尙ほ参考の爲めに二、三の實例を示せば第 6 表の如きものである。即ち不銹鋼及び  $Cr$  のみの ball bearing Steel は白點發生する危険は少いのであるが、これに  $W$  が入れれば危険を生ずるのである。

第 6 表 化學成分と白點との關係

C	Cr	Mn	Ni	W	Mo	白點發生率
1.0	1.5	0.6	—	—	—	危険少し
1.2	1.5	"	—	—	—	"
0.8	1.6~1.8	"	—	—	—	"
0.8	3.0	"	—	—	—	"
2.0	1.2	"	—	—	—	"
0.1~0.2	12~15	"	—	—	—	"
0.4	1.1	"	2.5	—	—	危険あり
0.7	0.3	"	6.0	—	—	"
1.3	0.5	"	7.0	—	—	"
1.0	1.0	1.0	1.0	—	—	"
0.2~0.4	0.5~1.0	0.5	1.0	—	—	"
0.2~0.4	0.5~1.0	0.6	3~5	—	—	頗る危険
0.4	1.3	"	1.0	1.0	—	"
0.2~0.3	1.0	"	3~5	1.0	0.5	"
"	"	"	"	—	0.5V	"
"	"	"	1~2	—	0.5Co	"

大體白點は Houdremont 及 Korschan 兩氏<sup>1)</sup> 並に Bennek, Schenk 及 Müller 氏<sup>2)</sup> 等の述べてゐる如く  $Ar_1$  變態點附近より生じ初め  $200^\circ C$  附近の時最も危険である。著者が 20 種の材料にて研究せる結果は大體第 7 表の如き數値である(尙ほ此詳細は IV の 5 節に述べる)。

第 7 表 白點と溫度との關係

溫度 $^\circ C$	感度	20種中白點發生數	プロバビリチー
700( $Ar_1$ )	稍々 鋭敏	2	1
600	" "	4	3
500	鋭 敏	6	5
400	" "	9	6
300	極めて鋭敏	12	8
200	最も鋭敏	15	10
100	なし	0	0

又一度白點を生ぜし鋼を爐中にて  $200^\circ C$  以上に熱すれば白點はなくなる。それ故に鋼塊中に白點ありても之を加熱すれば一度消失し、冷却すれば再び生ずるものである。若し鋼塊中にあるものが消失せず其儘あるものとすれば鍛鍊の際に長く延ばさるべき筈であるが、常に圓形であるから鋼塊中の白點は一度消失し鍛鍊鋼を冷却する時に再び發生するものである。

#### IV. 白點の防止法實驗

##### 1. 白點の防止條件

前述せし如く白點は凝離に起因するものであるから、之

1) St. u. E. Heft 11 1935,

2) St. u. E. Heft 12 1935,



をなくするには先づ凝離を防止し、次に  $200^{\circ}\text{C}$  以下まで徐冷することである。それ故に次の事項を充分注意して行はねばならぬ。

1. 高温度長時間精錬(純化)
2. 静穏鑄造(凝離防止)
3. 鋼塊の長時間加熱(擴散)
4. 鍛錬及び熱處理後徐冷却(牽引防止)

## 2. 熔解作業

1) 製鋼爐條件 凝離を防ぐには高温度長時間精錬しなければならぬが、この爲めには長時間高温度に耐へ得るやうな製鋼爐でなければならぬ。此條件を満足するものは酸性平爐が最良であり、鹽基性弧光式電氣爐が最も不利である。それ故に酸性平爐鋼には白點は發生し難いが、鹽基性電氣爐鋼には發生し易いのである。それ故に著者は今此處に最も白點に對して鋭敏なる鹽基性電氣爐を用ひて研究せんと思ふのである。

2) 鹽基性電氣爐築造法 從來我工場にては爐床はマグネシアを以てスタンプし、爐壁はマグネシア入りパイプを以て築造せしものなるが、爐熱を上げて完全なる精錬を遂行するには尙ほ不充分なる故に、爐床は從來よりも一層堅固にスタンプし、爐壁も爐床と同様にマグネシアを以てスタンプしたのである。川崎舍恒三氏<sup>1)</sup>は初心者には鹽基性爐に酸性煉瓦を用ふることを不思議に思はるゝが、中性でも鹽基性でも鋼滓にはよくないから、酸性でも差支ないとの意味を述べてゐる。然し著者はこの説には大反對である。苟くも鹽基性爐殊に鹽基性電氣爐に經驗あるものは何人も酸性煉瓦を使用することに反對なることは異存ないであらう。

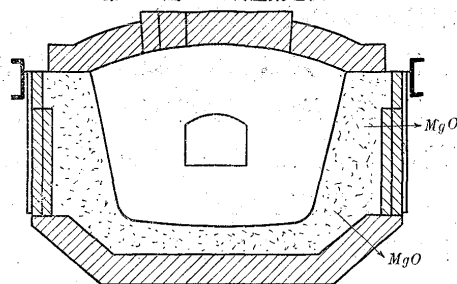
鹽基性爐に酸性材料を用ふる時は鹽基性鋼滓を破壊して順調なる作業を繼續することは不可能であるから出來得れば爐體及び天井全部鹽基性材料を使用したいのであるが我國には歐洲大陸の如き良き鹽基性煉瓦即ち Radex に匹敵するものなき故に止むなく天井にはダイナス煉瓦を用ひ、又爐壁にはマグネシア入りパイプを用ふる所が多いのである。

爐床材料としてはマグネシアとタールを用ふるものなるが、マグネシアは小爐の上にブリキをのせ其上にて  $60^{\circ}\text{C}$  に熱し、コールタールは  $100^{\circ}\text{C}$  に熱したるものを用ひて混合する。マグネシアの大きさは  $10\sim 15\text{mm}$  にして粉末は水分を吸収し易い故に用ひない。又コールタールは僅か

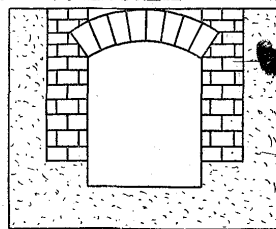
用ふるものであつて其混合状態は濕態でないやうにする。大體マグネシアの約 8% が適當である。タールは常溫に於て流動よき液體にして炭水化物を含むもの即ち製鋼用タールを用ひねばならぬ。又マグネシアが餘り高温度なる時はタールを混ぜし際にタールが燃えて散炭化する故にタールの性質がなくなる。

次にスタンプするには一度にマグネシアを  $15\text{mm}$  位の厚さづゝ撒布して 5 氣壓位の壓搾空氣棒を以てスタンプするのであるが、極めて丁寧にスタンプせねばならぬ。餘り硬き時はその上に直接マグネシアを入れてスタンプせず、錐を以て穴を明けて其部分をよく熱せし後丁寧にスタンプせねばならぬ。スタンプに要する時間は晝夜連續作業にて 3t 爐なれば 2 日間 15t 爐なれば 4 日間を要し、其所要材料は 3t 爐なればマグネシア 2t タール 60l、15t 爐なればマグネシア 10t タール 300l である。

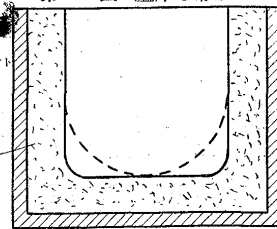
第 18 圖 電氣爐築造法



第 19 圖 爐床及爐壁スタンプ略圖



第 20 圖 爐床の形狀



爐壁をスタンプする時は丈夫なる鐵板製の杵を入れてスタンプするものなるが、此杵は 3 箇 1 組とする。先づ爐體外板の内側にアスベスト又はイソライト煉瓦を入れてマグネシアの膨張を自由ならしめる。又裝入口及び出鋼口のアーチ及び其柱は外國にては Radex の如き良好なる鹽基性煉瓦を用ふるが、我國にてはこれに比敵する煉瓦なき故にコルハルト(ホワイト)を用ふる。3t 爐の天井にもコルハルトホワイトを用ひしに極めて好成績を得たのである。

爐壁完全にスタンプし終れば最上部にコルハルト煉瓦を 2 段積みて天井を置く。天井煉瓦がコルハルト又は鹽基性材料なる時は差支なきも、酸性材料なる時は天井が流れてスタンプ壁を犯す故に、最上部に中性又は鹽基性煉瓦を要

1) 鐵と鋼 第 21 年 第 6 號

するのである。爐壁スタンプに要する時間は 15t 爐にて 7 日 3t 爐にて 3 日であり、使用材料は 15t 爐にてマグネシア 15t タール 450l、3t 爐にてマグネシア 2t タール 60l である。爐床の形狀は化學反應を充分ならしめるやうに第 20 圖の實線の如くする、點線の如くする時は化學反應充分に行かない。

爐の築造完成すれば木材を入れて 1 日半位極めて徐々に乾燥する。其溫度は 500~600°C 位にして水分のみを出し、次に骸炭を入れて乾燥する。骸炭の點火は電流を通ずるも、電流は僅かに點火するの用をなすのみにして電氣にて乾燥するものではない。即ち 5~15 分間通電して骸炭が赤くなれば電流を断ちて 1 時間位其儘にして置き、斯くして 1 日半位續けて最後に少し電流を強く長く通じて 1,100~1,200°C になさしめる。而して乾燥後は爐床を無理せぬ爲めに銑鐵を溶解して爐熱を上げる。

次に爐床及び爐壁のスタンプに要せし日數及び使用材料を示せば第 8 表の如きものである。

第 8 表 爐床及び爐壁スタンプ作業

摘 要	15t 爐		3t 爐	
	新	舊	新	舊
爐床スタンプ日數(日)	4	1	2	1/2
爐壁 " " (〃)	7	—	3	—
乾 燥 " (〃)	4	2	2	1
合 計	15	3	7	1 1/2
マグネシア (kg)	25,000	15,000	4,000	2,000
コールタール (l)	750	500	120	100
薪 (kg)	750	300	200	100
骸 炭 (〃)	2,000	2,000	800	800
電 力 (kW.H.)	4,500	3,000	2,000	1,200

3) 鹽基性電氣爐作業法 一般に鹽基性電氣爐に於ては電力を節約する意味にて装入材料には炭素含有量を成るべく少くして、溶解中に目的の炭素量 (0.1% 位) まで下げてゐる。然しこの普通の方法即ち Sisco 又は Sisco & Kritz の書籍中に記載されてゐるやうな方法では充分なる精鍊を行ふことは困難である。それ故に著者は酸化熔鍊法と題する一項目を掲げて理想的の鹽基性電氣製鋼法につきて論ぜんと思ふのである。

酸化熔鍊とは獨逸の Frischen に相當する言葉であり、或意味からは Sisco 及び Kritz 氏の書籍に記載されたる完全酸化熔解法に包含さるべきものであるが、其主旨が全く異なるのである。然し Kritz 氏も彼の書籍中に著者の意見と全く同じことを論じてゐるが、種別の項目にて取扱つてゐない。又或工場にては既にオクリングと稱して著者

の意見に近き方法を実施されつゝあるが、著者はこゝにももう少し深く考究して見たいと思ふのである。即ち著者の述べんとする酸化熔鍊法とは装入材料中に相當量の炭素を含ましめて置き、溶解後爐熱の上りし時に鑛石を加へて酸化沸騰せしめ、次で所謂酸化熔鍊せんとするものである。

大體純度高き優秀鋼を製造するには出来るだけ自然鎮靜によりて脱酸せしむべきものであつて、固形體の脱酸劑は成るべく用ひない方がよいのである。自然鎮靜による脱酸はすべて瓦斯體として逃出し固形體を残さざる故に極めて理想的であるが、珪素鐵又は Al の如き固形體の脱酸劑は脱酸成生物例へば  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  の如き固形體が凝固鋼中に介在して白點の起因となるものである。殊に Al の場合は非常に細い固形體の生成物が出る故に廣く鋼塊の結晶の境界に分布して擴散が困難となり其の爲めに白點が起り易い。

自然鎮靜をなす第一のものは鐵中の炭素であつて炭素は酸化鐵と反應して一酸化炭素瓦斯として逃出する故に脱酸の目的を達せらる。而して此炭素の酸化によりて湯槽は沸騰して爐熱上昇する故に瓦斯體は勿論固形體の不純物も湯面に浮上りて完全なる精鍊を行ふのである殊に Ni, Cr 及び W 等の鐵合金中には  $H_2$  を極めて多量に含む故に赤鐵鑛を以て充分酸化沸騰せしめねば除去すること困難である。

著者は從來電氣爐に於ても平爐に於ても高溫度長時間精鍊といふ主義にて作業し來り、高溫度なる程鋼質は良好であると嘗て本誌<sup>1)</sup> 上に述べしことがある。即ち高溫度にて精鍊すれば流動性がよくなる故に不純物が上に浮上り易く、從つて凝離が少く白點を發生しないのである。此目的を遂行する爲めには炭素を出来るだけ長く作用せしめて反應を増進せしむべきである。又装入材料も白點發生には影響がある。即ち装入材料が不純であれば脱酸し難く從つて白點が發生し易い故に、成るべく純度高き材料を用ひて凝離をなくすべきである。

それ故に著者は從來の方法と全く異りたる方法即ち装入材料中に低磷銑鐵を加へて装入材料の炭素含有量を製品の約 2 倍として置き、溶解後爐熱上りし時に赤鐵鑛を加へて盛んに沸騰せしめ炭素の酸化によりて爐熱を充分昇げると同時に水素其他の瓦斯體を放散せしめ刻々に變化する精鍊狀況によりて C, Mn 及び P の變化を檢定し、理想に近い條件になりし時に酸化鋼滓を掻き出す。若し極めて優秀な

<sup>1)</sup> 鐵と鋼 第 19 年 第 6 號



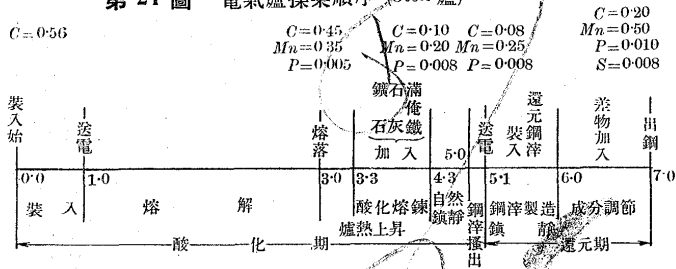


る鋼を造る時は再び酸化鋼滓を造りて充分精鍊して C を 0.05% まで落し Mn は 0.18% 以上及び P が 0.02% 以下の状態になりし時再び鋼滓を掻き出して還元期に移る

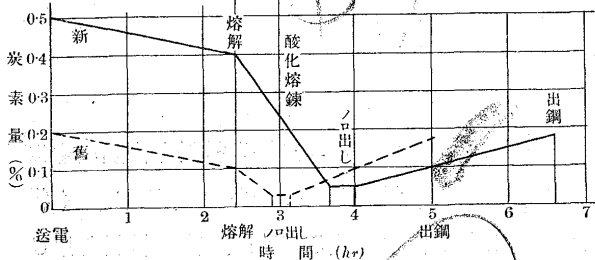
還元期に於ては鋼中に鋼滓及び不純物の介在を出来るだけ少なくする爲めに薄きカーバイド鋼滓を造りて高温度にて長時間精鍊する。而して熔鋼中には常に 0.18% 以上の Mn を有せしむるやうにマンガニ鐵を加へ、珪素鐵は成るべく加へないやうにする。差物は豫熱して還元鋼滓が出来上り温度が充分上りし頃を見計ひて入れ、更に還元鋼滓を補給して充分鎮靜せしめし後出鋼する。又差物は成るべく金屬の形にて酸化物少きものを用ふ。よく高炭素フェロクロムを用ふれば白點が起り低炭素フェロクロムを用ふれば白點が少いといはれてゐるが、これはフェロクロムの酸化物の含有量によるものと思ふのである。即ち高炭素フェロクロムは安價にして酸化物多く附着するが低炭素フェロクロムは高價にして酸化物質少し。

其操業順序 脱炭状態及び爐熱の變化状態を圖示すれば

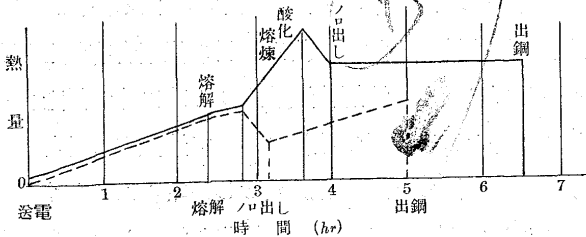
第 21 圖 電氣爐操業順序 (3ton 爐)



第 22 圖 炭素の酸化状態



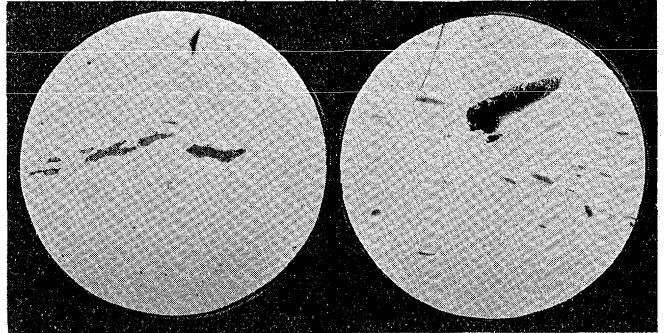
第 23 圖 爐熱の變化状態



第 21 圖乃至第 23 圖の如きものである。即ち著者の新方法来に於ては装入材に炭素量を高くして酸化熔鍊を行ふことである。一般に第 22 圖の如く普通の方法では漸く爐熱上

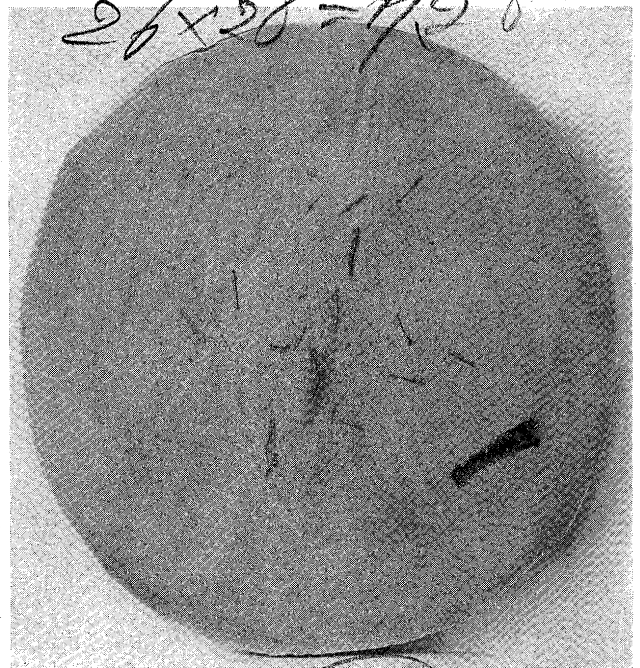
りし時に鋼滓を掻き出す故に爐熱下り、之を還元期に於て強ひて熱を上げ、而して漸く熱が上りし頃に出鋼する故に充分な精鍊は困難である。然し著者の方法にては酸化熔鍊によりて充分熔鋼の熱を上げしものを鋼滓掻きする故に左程爐熱下らず、出鋼するまで相當な熱を保持せらるゝ故に極めて完全な精鍊が出来るのである初め 15 吨電氣爐に於

第 24 圖 精鍊不充分なる鋼 (Ni-Cr 鋼) 酸化物 硫化物

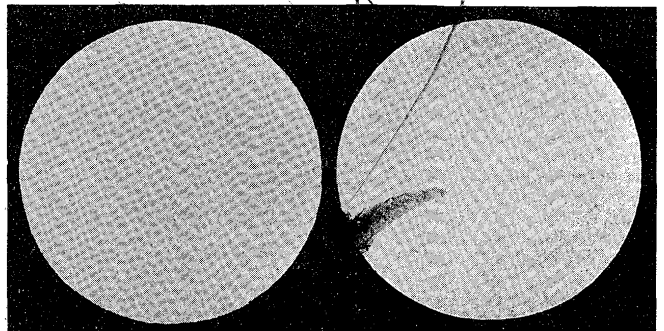


× 100 を 0.58 に縮寫

第 25 圖 精鍊不充分なる鋼 (Ni-Cr 鋼) × 1 を 463 に縮寫 50% 鹽酸腐蝕 (1/2 時間 100°C)



第 27 圖 精鍊充分なる場合の鋼 (曲軸) × 100 を 0.565 に縮寫



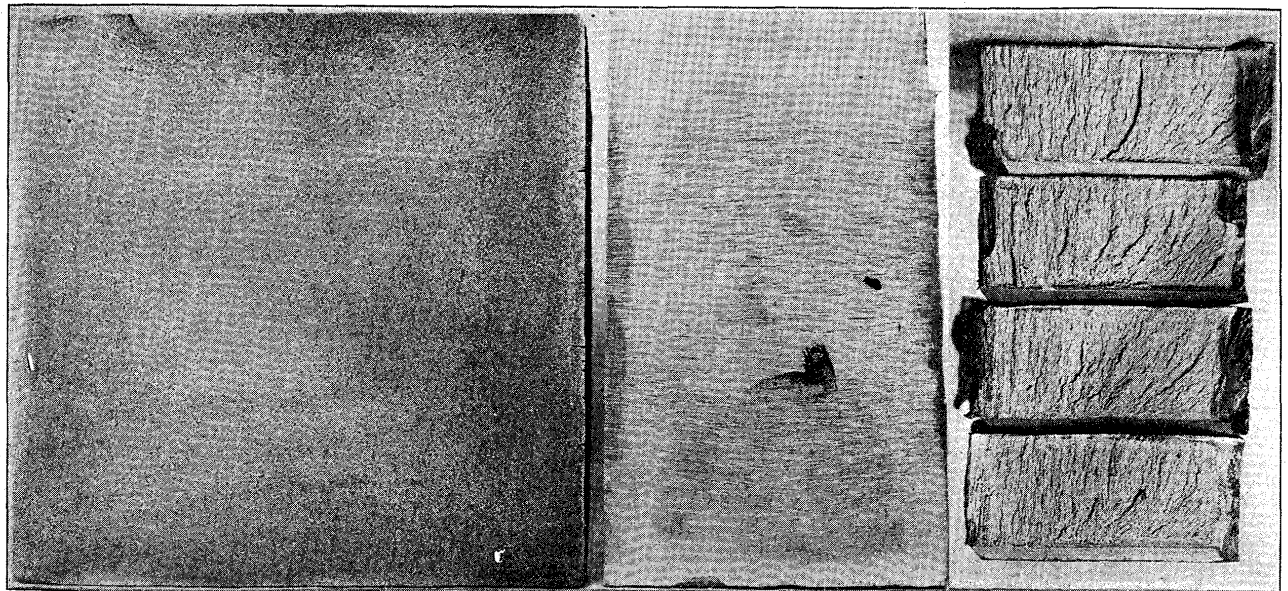
酸化物 硫化物

第9表 3 吨 電 氣 爐 (曲 軸) 操 業 表

時刻	摘 要	熔 鋼					鋼 滓				
		C	Mn	P	Ni	Cr	CaO	SiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	MgO
A.M.											
3~00	装 入 始	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4~00	装 入 終 送電	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7~00	熔解完了	0.56	0.33	0.013	3.25	0.25	45.30	19.85	17.64	7.85	9.50
7~20	石灰 10 <sub>kg</sub> 螢石 2 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7~25		0.46	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7~30	鑛 石 30 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7~40	"	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7~50		0.30	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8~00	鑛 石 30 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8~05	石灰 10 <sub>kg</sub> 螢石 2 <sub>kg</sub> FeMn 8 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8~10		0.18	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8~12	第一回除滓開始	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8~17	" " 終了	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8~17	石灰 30 <sub>kg</sub> 螢石 9 <sub>kg</sub> Ni 38 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8~25	鑛石 20 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8~30	FeMn 10 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8~50		0.095	0.24	0.005	—	—	49.50	19.35	17.00	7.20	11.20
9~00	石灰 10 <sub>kg</sub> 螢石 2 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9~10		0.035	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9~18	第二回除滓開始	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9~23	" " 終了	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9~23	石灰 50 <sub>kg</sub> 螢石 10 <sub>kg</sub> 骸 炭 14 <sub>kg</sub> FeSi 0.5 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10~20	石灰 12 <sub>kg</sub> 螢石 2 <sub>kg</sub> 骸 炭 14 <sub>kg</sub> FeSi 0.5 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10~25		0.11	0.20	—	4.45	—	57.50	16.40	3.00	1.00	10.50
10~30	石灰 5 <sub>kg</sub> 骸炭 2 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10~47		0.11	—	—	—	—	59.00	16.30	0.020	0.012	10.20
10~50	石灰 10 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10~55	FeW 48 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10~58	金屬 Cr 55 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11~00	FeMo 12 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11~03	石灰 5 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11~13	石灰 13 <sub>kg</sub> 螢石 3 <sub>kg</sub> FeSi 1 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11~20		0.18	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11~22	金屬 Mn 10 <sub>kg</sub> FeSi 8 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11~30		0.19	0.45	—	—	—	57.50	19.00	0.013	0.010	11.50
11~31	石灰 10 <sub>kg</sub> 螢石 2 <sub>kg</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11~50	出 鋼	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

取鋼内にカルシウム、シリサイド 3<sub>kg</sub> 加入 製鋼時間 7時50分 使用電力量 4,900 k.W.H. 出鋼温度 1,625°C

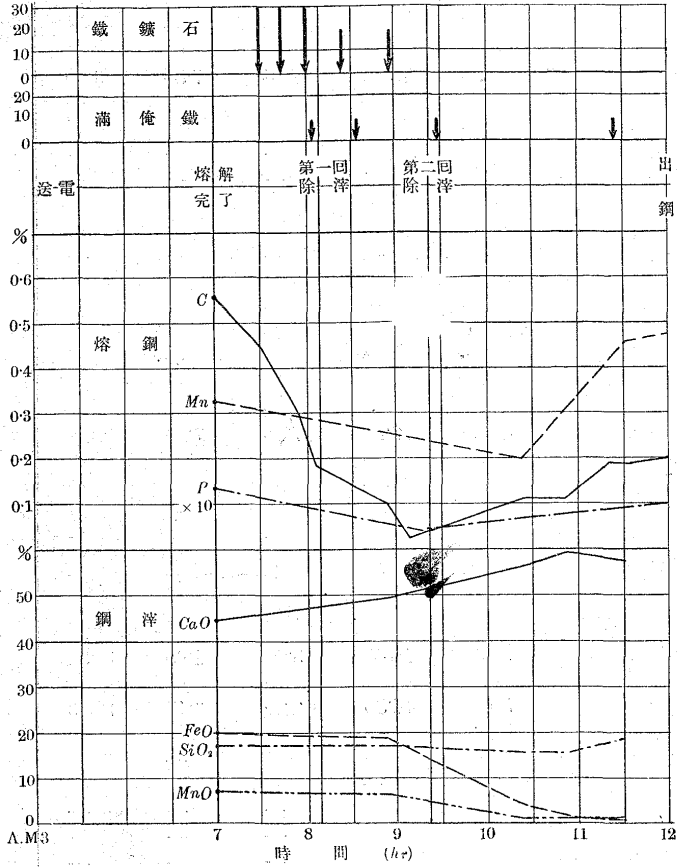
第 28 圖 精 鍊 充 分 なる 鋼 (曲 軸) ×1 を 0.7 に 縮 寫



25 x 53 = 13.25

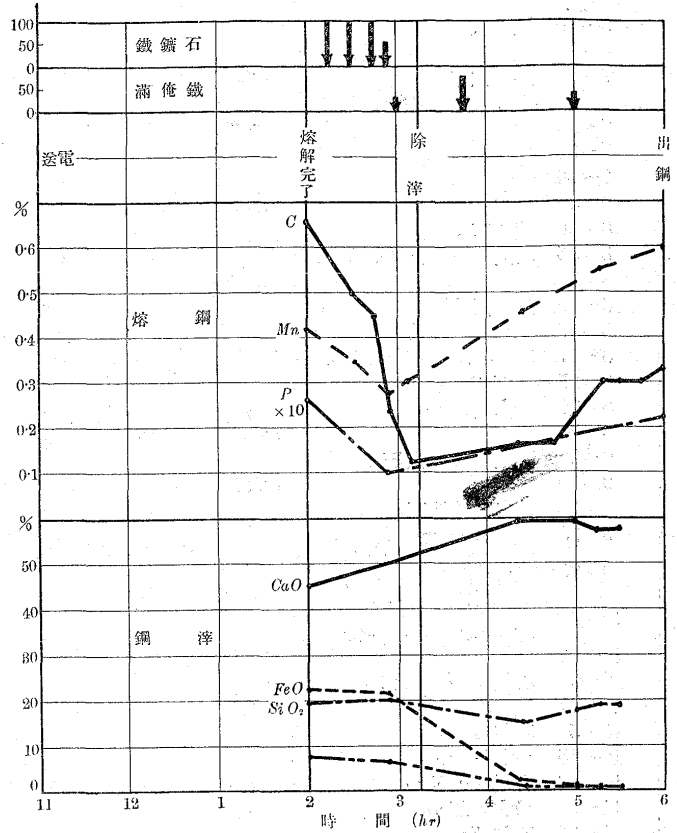
第 26 圖 3 吨電氣爐 (曲軸) 精鍊曲線

製品	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo
成分	0.20	0.25	0.48	0.010	0.004	4.25	1.30	1.00	0.35

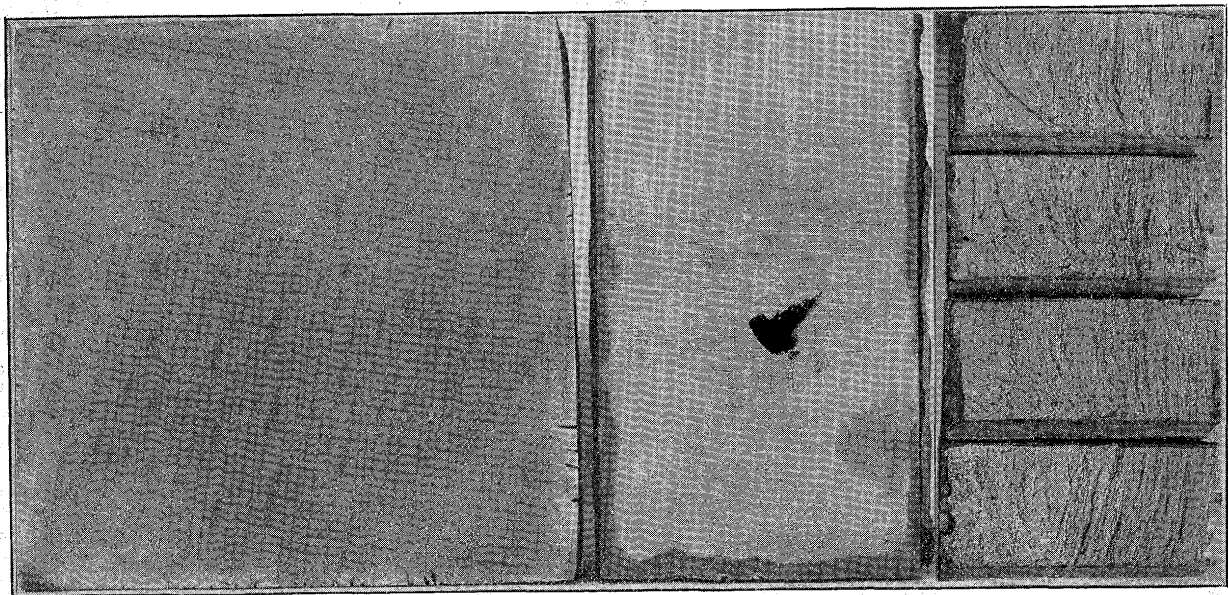


第 29 圖 15 吨電氣爐 (ダイス鋼) 精鍊曲線

製品	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
成分	0.33	0.22	0.59	0.022	0.012	2.08	0.60	0.25



第 30 圖 精鍊充分なる鋼 (ダイス鋼) ×1 を 07 に縮寫



ては爐熱上らず精鍊も不十分なりし故に往々白點を生じたのである。其一例を示せば第 24~25 圖の如きものであつて、極めて凝離多く従つて白點も多く發生したのである。然るに上述の如き方法を行つてより爐熱上り精鍊も完全に行はるゝやうになりし結果白點も全く防止し得たのであ

る。

次に 3 吨電氣爐及び 15 吨電氣爐に於ける製鋼作業の實例を示して見やう。

3. 鑄造作業

大體純鐵又は共晶成分の如く短時間に凝固すれば凝離は

24 x 50 = 1200

22  
36 x 28 = 1008 (5) 28 x 34 = 952

生ぜざる故に純度高き鋼を製造することが第一であるが、斯く理想鋼を得ることは困難であるから適當なる方法を講ぜねばならぬ。

凝離を防ぐには第一に鑄造溫度を許せる範圍内で低い方がよい。一般に白點を防止するには低温鑄造すべしと論ぜられてゐる。成程鑄造溫度低き程凝固時間短き故に凝離が少いわけである。又低温で鑄込む程断面に於ける一次晶が小さく發生し之が鋼材として非常によいのである。然し餘り低き時は外皮にヘゲを生じ又は不純物及び瓦斯體が充分浮上り切らず却つて白點の原因となることがある。即ち第 25 圖は極めて低温にて鑄込みし故に白點を生じしものであるが、第 28 及 30 圖は高温なりし故に白點を生じなかつた例である。

第二に鑄造速度であるが速度大なれば白點を生じ易い。Houdremont<sup>1)</sup> 氏は第 10 表の如く高温緩慢鑄造鋼は低温鑄造鋼よりも白點が少いと述べてゐる。即ち 0.25% C 4% Ni 及び 1% W を含む鋼を直径 320mm の鋼塊に最も早く又非常に遅く即ち押湯下まで 33 秒と 80 秒とを要せしに、鑄造速度早き鋼の白點は粗大で而かも全面に存在し、緩慢鑄造鋼の白點は離ればなれに存在してゐる故に鑄造速度の減少は白點なきことを保證し得ないが、其減少を

第 10 表 鑄造條件の白點に及ぼす影響

鋼塊種類	塗料	鑄造條件	鍛鍊比異なる鍛鍊鋼の白點	
			1:3	1:8
1 a	1 號ラック塗ケース	低温鑄造	大	
b	"	"	大	
c	"	高温緩慢鑄造	中	
2 a	2 號	低温鑄造	大	
b	"	"	大	小
c	"	高温緩慢鑄造	小	
3 a	タール塗ケース	低温鑄造	大	
b	"	"	大	小
c	"	高温緩慢鑄造	小	
4 a	非塗ケース	低温鑄造	大	
b	"	"	中	
c	"	高温緩慢鑄造	小	

意味するものである。

それ故に鋼塊鑄型の中にて熔鋼の表面に薄き膜を張りつつ上昇する位の熱にて鑄込むが適當である。即ち相當の溫度のものを徐々に鑄造する方がすべての缺點に對して良好である。獨逸にては Mattgiessen と稱してゐるが、これをよく低温鑄造と考へらるゝも著者は靜穩鑄造といふ意味であると思ふのである。現場にて『おとなしく注ぐ』といふ言葉に適合するものである。

<sup>1)</sup> St. U. E. Heft 11, 1935

適當に鑄造するには取鍋又は樋のノツヅルの徑の大きさが重大であつて、大小其のよろしきを得ざれば鑄込状態に非常に影響するものである。大體 1t-1min の割合にて鑄造しつゝあるが、これより長きものと遅きものとを比較する爲めに VCN 35 を 850kg 鋼塊に先づ第一に同じ湯を樋のノツヅルを同じくし、鑄造溫度を變へて鑄造せしに第 11 表 a の如き結果を得た。然しこのマクロ組織は餘り判然しなかつたが大體其の傾向は窺はれる。

第 11 表 a 鑄造状態と白點との關係

鋼塊番號	1	2	3	4
樋ノツヅルの徑 mm	25	25	25	25
鑄造溫度 °C	1,540	1,538	1,530	1,528
鑄造時間 秒	70	85	104	117
白點	小	なし	小	大
備考	出鋼後ストッパー切る	No.1よりNo.2の間が30秒	同じく1 min	同じく30 sec

(取鍋ノツヅルの徑 29 mm)

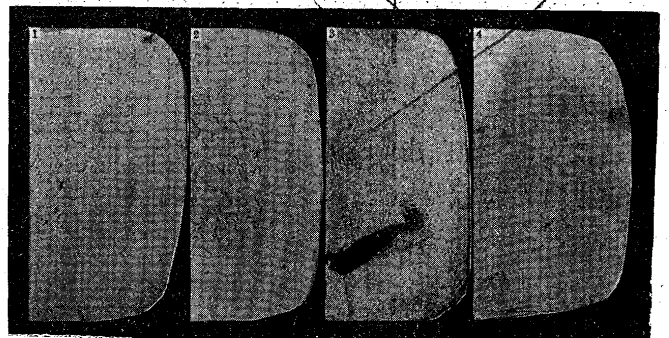
次に同じやうな條件にて精鍊せし異なる湯(VCN 35)を鑄造條件を變へて 850kg 鋼塊に鑄造せしに、第 11 表 b の如く鑄造時間短き程白點が多いのである。即ち高温緩慢

第 11 表 b 鑄造状態と白點との關係

鋼塊番號	1	2	3	4
ノツヅルの徑 mm	45	35	25	20
鑄造溫度 °C	1,528	1,530	1,538	1,545
鑄造時間 秒	35	50	80	100
白點	大	小	なし	小

鑄造は白點はないが、低温鑄造は白點が大である。然し餘り高温で且つ長時間を要せしものも白點を生ずる。それ故に鋼塊鑄型の中にて熔鋼の表面に極薄き皮を張りつつ上昇する位が最も適當である。即ち心熱ある湯を靜かに注入するが理想である。

第 31 圖 鑄造状態と白點との關係 (第 11 表 b 参照)



次に鋼塊を冷却する方法であるが、緩慢冷却する程白點を防止し得る Ashdown<sup>1)</sup> 氏も白點をなくするには徐々に冷却すべしと述べてゐる。即ち前述せし如くマルテンサイト組織が出来ない程度に徐々に冷却せねばならぬ。Ni,

<sup>1)</sup> Metal progress No. 5~6 1934



$Ni \cdot Cr$  及び  $Ni \cdot Cr \cdot Mo$  鋼は特に  $200^{\circ}C$  以下まで徐々に冷却せねばならぬ。即ちマルテンサイト組織を充分除く必要があるから、ケースの中に長く入れて置き暗黒色になる迄即ち  $200^{\circ}C$  以下になるまで置くのであるが、一層注意する時は  $200^{\circ}C$  以下まで徐冷せし後  $600^{\circ}C$  に豫熱せる爐に入れて爐中にて徐々に冷却すれば更に良好である。

又鋼塊に白點の發生することを防止するには  $800^{\circ}C$  位の赤熱の時にケースに入れしき鍛造工場に送り加熱爐に入れて豫熱すればよい。即ち前述せし 3 吨電氣爐にて造りし  $850\text{ kg}$  鋼塊は鑄込後 2 時間位にて鑄型と共に送り  $15\text{ t}$  鋼塊は 4 時間後に赤材にて送る。

ケースの形が白點の生成に影響すると稱する人があるが鋼塊の形状と白點とは何等の関係はない。其大きが非常に關係するものであつて鋼塊が大なる程白點は起り易い。又ケースの温度も餘り低き時は白點を生じ易い。大體  $80^{\circ}C$  位が適當である。

#### 4. 鋼塊の豫熱

鋼塊中の凝離を完全に防止することは不可能であるから之を擴散せしめねばならぬ。擴散せしむる爲めには充分豫熱すべきものであるが Oberhoffer<sup>1)</sup> 氏は凝離した鋼を  $1,100 \sim 1,300^{\circ}C$  の間で長い間加熱すれば均一にすることが出来ると述べてゐる。又 Leitner<sup>2)</sup> 氏も鍛鍊温度に長時間熱すれば凝離を均一にするのみでなく大きくない割れは大抵なくなると論じてゐる。然し加熱するのみにては白點は消滅するものでなく只熔着するのみなれば之を鍛鍊して初めて完全に消えるのであるが其鍛鍊方法につきては次章に述べるから此處には單に豫熱のみを述べることにする。

此凝離をなくする爲めの温度及び其速さ即ち豫熱の温度と時間とは鋼の化學成分、鋼塊の大きさ及び精鍊の状況等によりて異なるものであるから一般的に論ずることは困難であるが、大體炭素鋼は擴散し易く白點を生ずること少き故に加熱も長くする必要はないが  $Ni$  及  $Ni \cdot Cr$  鋼は擴散し難き故に相當に長くせねばならぬ。殊に  $Mo$  を含むものは一層長くせねばならぬ。又鹽基性鋼は酸性鋼よりも擴散し難き故に長く熱せねばならぬ。又精鍊不完全なる時と鑄造温度高き時は比較的長くせねばならぬ。次に大きい鋼塊はそれに相應して長い間熱せねばならぬことは勿論であるが、大體鋼塊の熱傳導状態は鋼塊の直径の 2 乗に比例する故に其加熱時間も鋼塊の直径の比の 2 乗に比例して長くす

べきものである。即ち  $200\text{ mm}$  直径の時 4 時間であれば、 $400\text{ mm}$  直径であれば 16 時間であり、 $600\text{ mm}$  直径ならば  $4 \times (600/200)^2 = 36\text{ h}$  である。

鋼殊に特殊鋼は熱傳導が極めて悪い故に初めは非常に緩に加熱し赤熱になつてから初めて温度を上げねばならぬ。而して其時は爐の焔は成るべく酸化力の弱いものを用ふるやうにせねばならぬ。又此際注意すべきは鋼塊を熱する時に其外部の温度はわかるが其時の内部の温度が果して何度であるか、又内部まで均一の温度にする迄どの位の時間が必要であるかを知ることが重要である。豫熱時間を短くしたり或は鋼塊を所定の高温まで上げない場合は白點を發生する危険がある。

最近 Benneck<sup>1)</sup> 氏等も鍛鍊前の灼熱温度と白點組織との影響を研究した結果 VCN 35 を各種温度に 24 時間熱して普通の方法で鍛鍊せし後空中冷却したものを  $250^{\circ}C$  で處理した鋼塊は白點が可成りあつたが  $850^{\circ}C$  に熱した鋼塊は非常に少いといふものの少々あつた。然し  $1,100^{\circ}C$  に熱した鋼塊は全然なかつたと。

従來我工場にては鐵と鋼<sup>2)</sup> に記載されたる如き温度及び時間に近き程度即ち第 12~13 表の如き値にて作業し來りしが、この位の程度の加熱時間にては白點を防止し難いの

第 12 表 従來の加熱温度

低炭素鋼 (0.3% C 以下)	$1,300^{\circ}C$
中 " (0.3~0.5% C)	$1,250^{\circ}$
高 " (0.5% C 以上)	$1,200^{\circ}$
$Ni, NiCr$ 鋼及其他の特殊鋼	$1,250^{\circ}$

第 13 表 従來の加熱時間

鋼塊の大きさ $kg$	850	4,000	10,000	15,000	25,000	35,000
平均直径 $mm$	345	585	750	950	1,100	1,200
加熱時間 $h$	8	10	15	20	25	30

である。即ち VCN 35 の  $850\text{ kg}$  鋼塊を  $1,180 \sim 1,200^{\circ}C$  に 8, 16 及び 32 時間の 3 種に加熱せし後夫々  $1/2$  に鍛鍊せしに 8 時間の時は白點多く 16 時間の時は少く 32 時間の時は全くなかつた。又前述せし  $Ni, Cr, W, Mo$  鋼の如きは極めて擴散し難き故に充分長く豫熱したのである。即ち第 37 圖の如く  $800^{\circ}C$  の赤材にて加熱爐に入れ 1 時間装入せしき放置し爐内の温度と鋼塊の温度とが同一になりし時に點火して 12 時間にて  $1,150 \sim 1,180^{\circ}C$  に上げ、此の温度に 24 時間保ちし後 12 時間にて  $1,200^{\circ}C$  に上げて作業したのである。

<sup>1)</sup> St. U. E. 1923 S. 1151.

<sup>2)</sup> St. U. E. 1934 Heft 47

<sup>1)</sup> Benneck, Schenk & Müller St. U. E. Heft 12 1935

<sup>2)</sup> 甲藤 新 鐵と鋼 第 21 年 第 6 號



斯く長時間豫熱して均等なる性質となすことを講じて以來大型寸法のものにも白點を防止することが出來たのである。此問題に關しては多くの實驗をなしたのであるが、大體鋼塊の大きさと化學成分とによりて第 14 表及び第 15 表の如き値が適當なることを見出したのである。

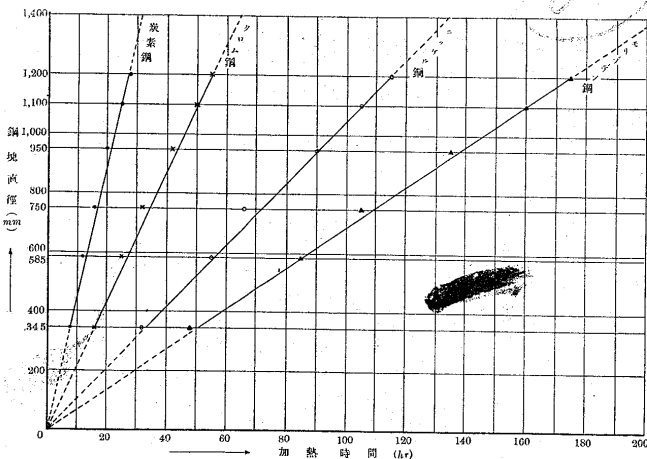
第 14 表 適當なる加熱溫度

極軟鋼 (0.1% C 以下)	1,300°C
低炭素鋼 (0.2~0.3% C)	1,250°
中 " (0.3~0.5% C)	1,200°
高 " (0.5% C 以上)	1,800°
Ni, Ni-Cr 鋼及其他の特殊鋼	1,200°

第 15 表 適當なる加熱時間

平均直徑 mm	345	585	750	950	1,100	1,200
鋼塊重量 kg	850	4,000	10,000	15,000	25,000	35,000
加熱時間 (炭素鋼)	8h	12h	16h	20h	25h	28h
加熱時間 (Cr 鋼)	16°	25°	32°	42°	50°	55°
加熱時間 (Ni 鋼)	32°	55°	66°	90°	105°	115°
加熱時間 (Mo 鋼)	48°	85°	105°	135°	160°	175°

第 32 圖 化學成分及鋼塊直徑と加熱時間との關係



然し上述の如く精鍊の狀況及び鑄込状態等によりて多少異なるものであるから、此加熱時間は各工場に於て各チャージ毎に適當なる時間を定むべきものである。又以上のデータはすべて鹽基性電氣爐鋼に對するものであるから、其他の種類の製鋼法に對しては第 3 表の數値に比例して變更せしむべきものである。

Kukla 博士<sup>1)</sup>の研究によれば瑞典、獨逸及び露西亞に於ては球軸承材料を次の如き方法にて豫熱して完全に白點を防止してゐる。

1) 瑞典の或工場に於ては 15 噸酸性平爐製の鋼を次の如き大きさの鋼塊に鑄造せしものを發生爐瓦斯を用ふる爐にて 1,100°C に 7 時間豫熱してゐる。

上部に於て 320mm 角 下部に於て 240mm 角  
長さ 850mm (押湯なし)

<sup>1)</sup> Otto Kukla 前出

2) 獨逸の或工場にては 8 噸鹽基性弧光式電氣爐にて製造せる鋼を次の如き大きさの鋼塊に注ぎしものを發生爐瓦斯を用ふる加熱爐にて 1,100~1,150°C に 12 時間以上豫熱してゐる。

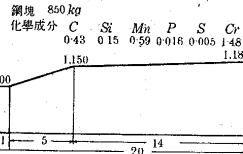
上部に於て 320mm 丸 下部に於て 240mm 丸  
長さ 850mm (押湯なし)

3) 露西亞の或工場にては 15 噸鹽基性電氣爐にて製造せる鋼を次の如き大きさの鋼塊に注ぎしものを 1,150~1,180°C に 12 時間以上豫熱してゐる。

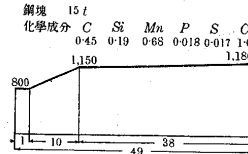
上部に於て 290mm 丸 下部に於て 240mm 丸  
長さ 870mm (押湯なし)

即ち酸性平爐鋼は鹽基性電氣爐鋼に比して 2/3 以下の時間にて充分である。又著者の經驗より綜合すれば大體次の如き比例時間にて行ふが適當である。例へば鹽基性電氣爐製ニッケルクロ鋼は 15t 鋼塊にて 90 時間を要するものが酸性平爐製のものは 50 時間にて適當である。尚ほ参考の爲め次に 2, 3 の實例を示して見やう。

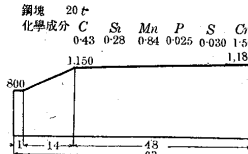
第 33 圖 3噸電氣爐製 Cr 鋼



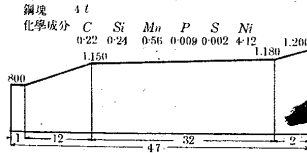
第 34 圖 15噸電氣爐製 Cr 鋼



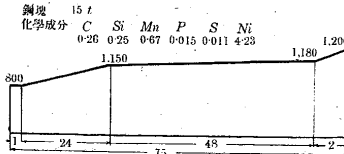
第 35 圖 25噸鹽性平爐製 Cr 鋼



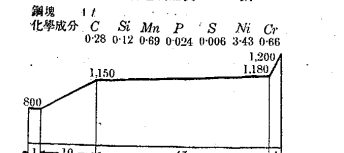
第 36 圖 3噸電氣爐製 Ni 鋼



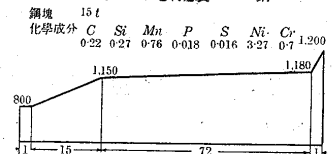
第 37 圖 15噸電氣爐製 Ni 鋼



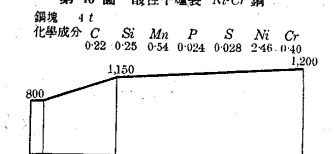
第 38 圖 3噸電氣爐製 Ni-Cr 鋼



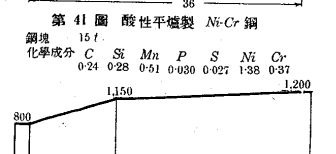
第 39 圖 15噸電氣爐製 Ni-Cr 鋼



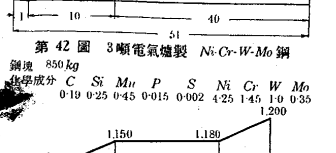
第 40 圖 酸性平爐製 Ni-Cr 鋼



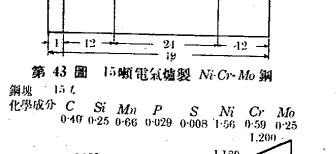
第 41 圖 酸性平爐製 Ni-Cr 鋼



第 42 圖 3噸電氣爐製 Ni-Cr-W-Mo 鋼



第 43 圖 15噸電氣爐製 Ni-Cr-Mo 鋼



45 x 27 = 12.15



各種製鋼法に對する豫熱時間比表

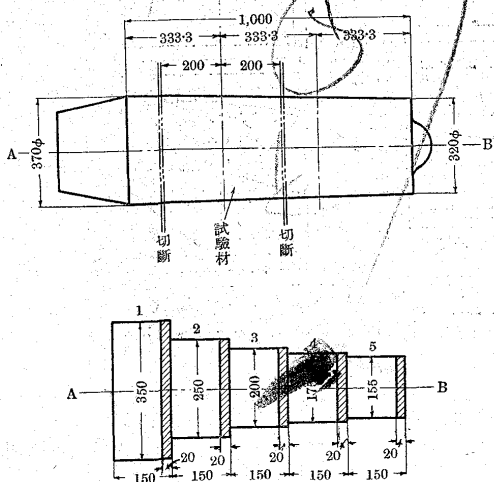
製鋼法	豫熱時間比	製鋼法	豫熱時間比
酸性平爐鋼	1.00	鹽基性電氣爐鋼	1.75
酸性電氣爐鋼	1.25	カーバイド鋼滓製鋼	2.00
鹽基性平爐鋼	1.50		

5. 鍛鍊作業

鋼塊を充分豫熱して鍛鍊温度になりし時に注意して鍛鍊すれば白點は消滅するものであるが、これも丁寧にせねば其目的を達することは困難である。即ち鍛鍊する場合は初め極めて小さく且つ早く鍛鍊すべきものであって、高級なる程非常に其率少く低級なもの程多くすべきものである。而して少しでも温度下りし時は早速爐に入れて熱せし後鍛鍊せねばならぬ。大體 1,150~1,200°C の時爐より出して 900°C 附近まで 30 分間鍛鍊して再び爐に入れて熱すべきものである。よく 1,300°C 以上の高温度に熱せしものを強く鍛鍊して 800°C 以下の低温度になるまで 1 時間以上も一度に多く鍛鍊する傾向があるが、これにては無理が行く故に極めて丁寧にせねばならぬ。又中間加熱も餘り低温度にならぬ中に爐に入るればさう長く加熱せずとも充分である。加熱爐の温度と鋼塊の温度とを常に均一にして加熱を絶対に急激にしないやうにすることが必要である。

次に鍛鍊比によりても白點は消滅するものである。Houdnemt<sup>1)</sup> 氏の研究によれば鍛鍊比を増加すれば白

第 44 圖 a 鍛鍊比試験方法



點は減少する即ち 1:8 の鍛鍊比大なる鋼は 1:3 の鍛鍊比小なるものよりも白點は遙に少いと。又著者の研究によれば VC N 35 の 850 kg 鋼塊を押湯下 1/3 位の

所即ち最悪部を切斷して、之を 16 時間熱して 1, 2, 3, 4 及び 5 の鍛鍊比にて階段状に鍛鍊せしに、鍛鍊比の大なるもの程白點が少きことを見出した。第 44 圖 b は其の各部分の中心部のマクロ組織を示すものである。これは鍛鍊

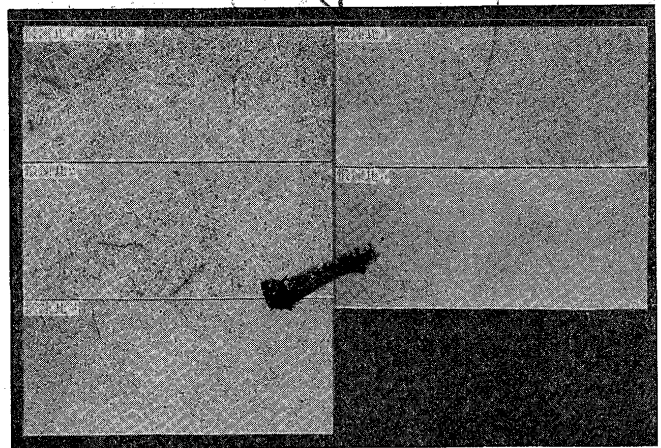
比小なる鋼は冷却速力非常に早き故に白點を生じ易いので

第 15 表 鍛鍊比と白點との關係

鍛鍊比	2	3	4	5
白點	大	小	なし	なし

ある。然し鍛鍊比は Maner-Korschan<sup>1)</sup> 氏及 Maner-Gummert<sup>2)</sup> 氏の研究によれば Ni·Cr·Mo 鋼は 5 倍以上、其他の鋼は 3 倍以下の時が良好であると述べてゐるが、著者の経験によれば 3~5 倍の時が最も良好である。即ちそれより小なるものは勿論壓縮率少き故に不良であるが、それより大なる場合も亦不良である。何故なれば鍛鍊比大なれば大なる鋼塊を用ひねばならぬから、凝離が大きくなる故に不良である。優秀なる鋼質を得る意味からいへば考へねばならぬ。又鍛鍊比の餘り大なる場合は第 16 表の例の如く中央部の粗悪部が外面に出る恐れある故に多くの缺陷を生じ易い。それ故に鋼塊は餘り大なるものを用ひ

第 44 圖 b 鍛鍊比と白點との關係



第 16 表 鍛鍊比に關する研究

番 號	使用鋼塊		鍛造品		鍛鍊比	成績	結果
	平均斷 面積 mm <sup>2</sup>	面積	直徑 mm	斷面積 mm <sup>2</sup>			
1	15t	746,000	190	28,350	26.3	仕上表面の結晶粒粗大	廢却
2	"	"	"	"	"	仕上前にゴースト及白點出現	"
3	"	"	"	"	"	同上	"
4	"	"	"	"	"	仕上中にゴースト及白點出現	"
5	6t	486,500	180	25,450	17.2	仕上中にゴースト出現	"
6	"	"	"	"	"	仕上中に白點出現	"
7	850kg	93,250	170	22,700	4.2	故障なし	良
8	"	"	"	"	"	"	"
9	"	"	"	"	"	"	"
10	"	"	"	"	"	"	"

<sup>1)</sup> St. U. E. Heft 9, 10, 11, 1933.

<sup>2)</sup> St. U. E. Heft 50, 51 1934

<sup>1)</sup> St. U. E. Heft 11 1935



第 17 表 第 16 表の物理及化學的性質

番號	C	Si	Mn	P	S	Ni	彈性限 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	延伸率 %	アイソ ット ft/lb	ブリネ ル硬度
1	0.27	0.22	0.68	0.025	0.037	4.45	64.1	74.8	16.5	3.52	228
2	"	"	"	"	"	"	67.0	78.4	17.5	3.52	228
3	0.26	0.31	0.70	0.025	0.011	4.23	54.7	76.4	24.0	5.00	212
4	"	"	"	"	"	"	54.9	76.7	21.0	5.20	217
5	0.30	0.26	0.70	0.022	0.009	3.94	61.9	76.6	19.0	6.00	223
6	"	"	"	"	"	"	62.1	77.7	23.0	5.3	228
7	0.26	0.18	0.71	0.013	0.009	3.98	59.4	74.2	20.0	5.4	212
8	"	"	"	"	"	"	52.3	72.5	20.5	5.4	207
9	"	"	"	"	"	"	57.1	71.3	22.0	5.7	212
10	"	"	"	"	"	"	56.9	71.4	22.5	6.0	212

ず、若し鍛鍊比小なる場合には鋼塊を一度据え込みて直径を大きくして更に所要の形狀にせねばならぬ。又据込鍛鍊は白點を防止し得るものである。

又 Houdremont<sup>1)</sup> 氏は白點ある鍛鍊鋼は 1.2 に再鍛鍊すれば消滅すると述べてゐるが、これはすべてに對して此數値を適用することは出來ない。即ち第 3 表にでも述べたる如く精鍊鑄造豫熱共に不良なる場合は如何に鍛鍊するも消滅せしむることは困難である。それ故に Houdremont 氏の 1.2 鍛鍊比も比較的好條件の場合であつて、只良好なる鍛鍊鋼にのみ適合するものである。即ちもともと鍛鍊鋼には白點がなかつたものを急冷却して白點を生ぜし場合には、充分豫熱せし後 1.2 に再鍛鍊すれば消滅し得ることは事實である。然し鋼塊に對しては Maner-Korschach 兩氏<sup>2)</sup> は 5 倍鍛鍊すれば完全に消滅し得ると述べてゐるが、著者の經驗にては比較的好條件にて作業されたる場合は 4 倍鍛鍊にて消滅し得る。

次に鋼塊の大きさと鍛鍊機との關係は極めて大事なものであつて、鍛鍊機の力小なるもので大なる鋼塊を押すことは不良であるから、押される鋼塊が凸形狀に鍛鍊せられねばならぬ。それ故に次の如き關係にすべきものである。

第 18 表 鋼塊の大きさと鍛鍊機との關係

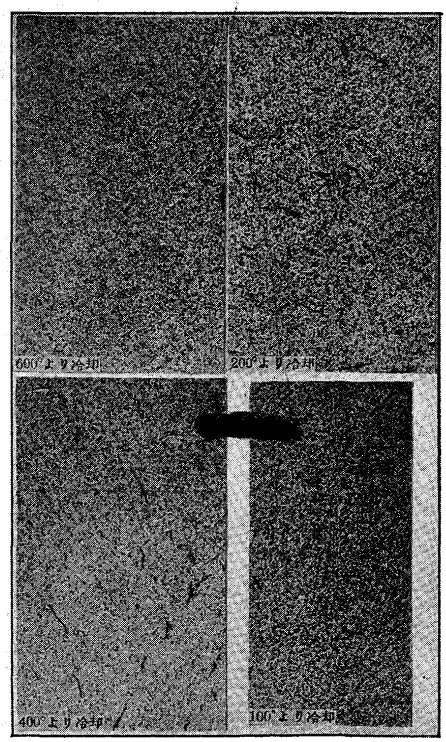
鋼塊の大きき t	3~5	10~15	20~35	50~80
平均直径 mm	500~600	800~900	1,000~1,400	1,500~2,000
鍛鍊機の力 t	1,500	2,000	3,000	4,000

白點は鍛鍊完了鋼を冷却する際に再び發生するものであるが、冷却速力の影響を受け冷却するに従ひ白點を發生するものであるから前述の如く 200°C の温度範圍を出来るだけ緩慢に冷却して、例へば灰中にて冷却して出来るだけ

牽引を少なくすることが必要である。それ故に冷風に曝らすことは絶対に防止せねばならぬ Houdremont<sup>1)</sup> 氏が 900°C に熱せる Ni-Cr 鋼を種々の温度より取出して空中冷却せしに 300°C 以上より放冷せしものは皆白點があつたが 200°C 以下にて放冷せしものは白點はなかつた。大體 Cr 鋼は 300°C 以上 Ni 鋼は 200°C 以上より急冷すれば白點を生ずる故に 100°C まで徐冷せねばならぬと述べてゐる。

著者の實驗によれば VCN-35 を 900°C に熱せしものを 600, 400, 200 及び 100°C より空中冷却せしに 200°C の時が最も多く 400°C の時は可成あつたが 100°C の時は全然なかつた。

第 45 圖 各種温度より冷却せる場合の白點發生狀況



### 6. 熱處理

白點は主に鍛鍊作業までに發生するものであつて、熱處理作業に於て發生することは極めて稀である。又熱處理前に防止せねば防止することは困難である。即ち白點問題に關しては熱處理は關係少きものである。然し唯其冷却が 200°C 附近にて適當ならざれば發生する。第 46 圖は Ni-Cr 鋼に生ぜし白點であるが、焼入焼戻前には全然なかつた。

1) St. U. E. Heft. 11, 1935  
2) St. U. E. Heft 9, 10, 11, 1933

1) 前出

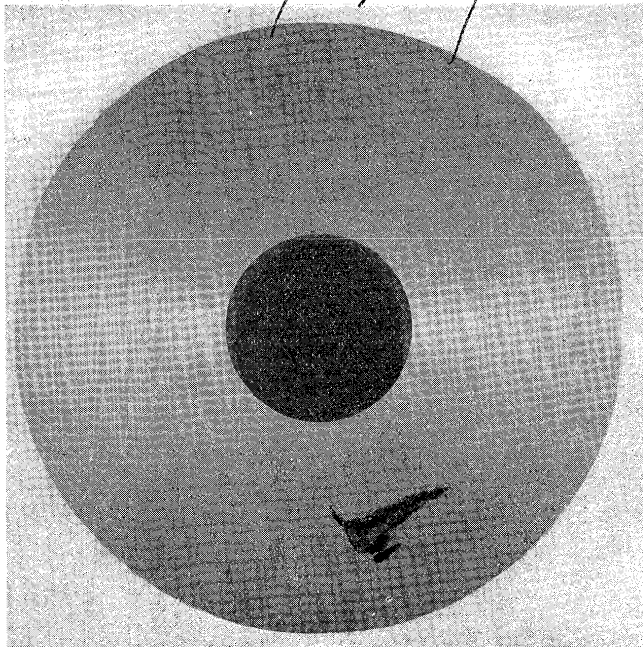




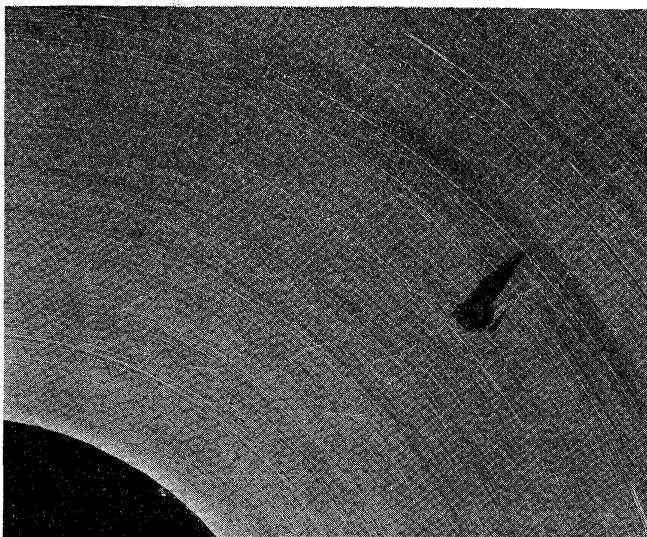
たものが焼戻後発生せしものである。これは冷却の際不注意にも 300°C 附近より空中放冷せし爲めに発生せしものであつて 100°C 以下まで徐冷せしものには全然発生しなかつた。

大體鋼材は標準化して均質となす方が良好なる故に熱處理前に必ず標準化すべきものである。然し標準化するにしても焼入するにしても又焼戻しするにしても必らず 200°C 以下まで徐冷せねばならぬ。即ち標準化する場合には靜風にて行ひ又焼入焼戻する場合は 200°C 以上の温度に於て油中等より引上げないやうにすべきである。

27x27 = 7.29  
第 46 圖 熱處理後に現はれたる白點

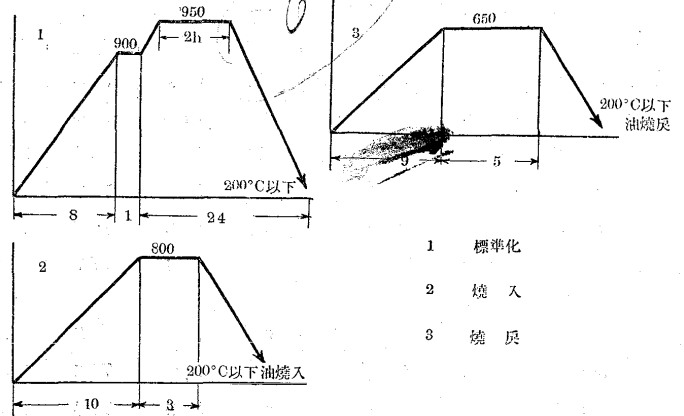


第 47 圖 第 46 圖の中央部を仕上げた時に現はれたる白點



22x27 = 5.94 — 22 —

第 48 圖 熱處理法



- 1 標準化
- 2 焼入
- 3 焼戻

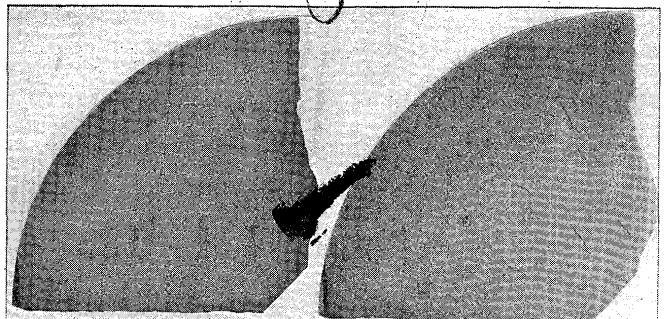
### V. 白點の検査法

一般に白點は鋼材を破斷して其破面によりて白點の有無を検するか又は 10~20% の鹽酸或は硝酸に浸して其検出を行ふてゐるが、これらの方法は極めて不完全で満足なる結果を得ることは出来ない。それ故に著者は試料を普通のマクロの方法の如く表面を磨きて 50% の鹽酸に浸し 30 分間 100°C に煮沸せしものを水洗ひして検出してゐるがこの方法ならば白點あれば全體に判然と表はれる。第 49 圖はその例である。

尙ほ鋼塊を完全に検査する時は鋼塊を鍛鍊して 90mm 角の棒にし、そして鋼塊の上部より 1/3 の所即ち最も凝離多き所に相當する部分より 10mm 厚さの試験片を採り、之を上述の如き方法にて検査してゐる。

第 49 圖 白點検出法比較

10% 硝酸にて腐蝕せるもの (常溫 1/2 時間)      50% 鹽酸にて腐蝕せるもの (100°C 1/2 時間)



### VI. 結論

1. 鋼材の缺陷中にて最も難解なる問題は白點であるが其成因に就いては學說區々にして未だ明確なる定説となつてゐない。然るに著者が Kukle 博士の指導を受けて研究せし所によれば白點は凝離に起因するものである。



2. 白點は常に圓形をなして母體よりも白く光つてゐるが、其横斷面は毛狀龜裂として表はれる。

3. 白點は收縮割れとは全く異つたものである。即ち收縮割れは高溫度に於て生ずる龜裂であつて、結晶の境界面に沿ふて割れる所謂 intergranular である。

4. 然し白點は低溫度即ち  $Ar_1$  以下に於て表はれるものであつて、結晶の境界面を貫通して割れる所謂 intra-granular である。

5. これは凝離部分のオーステナイトは完全にソルバイトに變化し切れず其一部分は  $300\sim 200^\circ C$  まで残る故此溫度範圍の時急冷すれば残留せるオーステナイトがマルテンサイトになるから、既にパーライト又はソルバイトに變化せる周圍部分の體積を縮少することゝなる故に白點を生ずるのである。

6. 然るに此溫度範圍を漸冷すれば凝離部分のオーステナイトはマルテンサイトとならず、凝離しない部分と共にソルバイトに變化する故に體積の變化が起らず従つて白點を生じないのである。

7. 白點は大體  $200^\circ C$  附近にて最も多く發生するものである。

8. 白點の防止法としては凝離をなくするにあるが、精鍊、鑄造、豫熱、鍛造及び熱處理の各項に互つて研究せねばならぬ。

9. 凝離をなくするには先づ純度高き優秀鋼を製造するが先決問題なる故に、白點發生如何は實に製鋼技術者の手腕に俟つ所大である。

10. 白點は酸性鋼にはあまり出ないが、鹽基性鋼殊に弧光式電氣爐鋼は極めて鋭敏である。

11. 又白點は炭素鋼には生ぜざるも  $Ni$  又は  $Ni \cdot Cr$  鋼にはよく發生するが  $Mo$  含有鋼は極めて鋭敏である。

12. 著者は鹽基性電氣爐に於て白點なき鋼を造る爲めに、先づ爐床及び爐壁をマグネシアをスタンプして堅固なる爐を造り、

13. 次に裝入材料中に低磷鉄を加へて炭素量を多くし熔解後爐熱上りし時に鑛石を加へて酸化沸騰せしめ所謂酸

化熔鍊して自然鎮靜によりて健全なる鋼を造つたのである

14. 即ち高溫度長時間精鍊して不純物を浮上らせて純度高き鋼を造つた。

15. 尙ほ固形體の脱酸劑は固形體の脱酸成生物を生じ、之が白點を誘發する原因となる故に、マンガニ鐵以外のもは成るべく用ひないやうにした。

16. 鑄造溫度及び鑄造速度大なる場合は白點を生じ易い故に適當の溫度のものを靜穩鑄造したのである。

17. 鋼塊は  $800^\circ C$  の時熱塊を加熱爐に入れ  $200^\circ C$  附近の危險區域に遭遇しないやうにした。

18. 又鋼塊中に凝離を完全になくすることは不可能であるから、長時間加熱して擴散せしめた。

19. 豫熱時間を短くしたり或は鋼塊を所定の高溫度まで上げない場合は白點を發生する危険がある。

20. 大きい鋼塊はそれに相應して長い間温めねばならぬ即ち豫熱時間は鋼塊の直徑の比の2乗に比例して長くせねばならぬ。著者は化學成分及び鋼塊の大きさと豫熱時間との關係圖を作成した。

21. 鍛鍊比は大なる程白點はなくなるが、大體鋼塊としては  $3\sim 5$  が最も優秀であるから、鍛鍊比によつて白點を防止することは考へに入るべきものでない。

22. 鍛鍊完了鋼は  $200^\circ C$  以下まで徐冷せねば白點を發生する恐れがある。

23. 熱處理作業に於ては白點は生じないが、それを冷却する時に生ずるものである。即ち前述の場合と同じく  $200^\circ C$  以下まで徐冷せねばならぬ。

24. 白點を檢查するには試料を  $100^\circ C$  50% 鹽酸に30分間浸蝕すれば判然と表はれる。

25. 以上の如き方法を講じてより我工場に於ては白點を征服し得たのである。

\* \* \*

此研究は終始 Kukla 博士の懇切なる御指導の賜であるが、又これを遂行せしむるやう激勵と御援助なし下されし吉岡所長及び田口部長に感謝すると共に、川崎製鋼工場關係者一同の御助力に對して謝する次第である。