

造塊作業の研究(I)

(昭和26年4月本會講演大會にて講演)

中川義隆*・曾我政雄*

STUDY ON INGOT MAKING PRACTICE (1)

Yoshitaka Nakagawa and Masao Soga

Synopsis: The authors obtained the following relationships by statistical investigation in the data of ingot making practice:—

- (1) Reciprocal relation of various ingot casting conditions.
- (2) Characteristics of various kinds of steel in the ingot casting.
- (3) Characteristics of various kinds of furnace steel in the ingot casting.
- (4) Empirical formula of reciprocal relation between casting temperature, casting velocity and tundish nozzle diameter worked out by statistical calculation.
- (5) Relation between various ingot casting conditions and ingot skin.
- (6) Relation between various defects rising on ingot (sand crack, goast and forging crack etc.) and conditions of ingot casting practice.

And so the best and reasonable conditions for good ingot making were obtained.

I. 緒言

製鋼作業中精錬過程に關する調査並びに研究は従來多數の報告があつて理論的にも又實際作業的にも著しく進歩し大體合理的なる熔解作業が行われている。一方造塊に就ては理論的には主として鋼塊の凝固、冷却過程に關する實驗が多く又作業上は衣造塊の如き進んだ方法が考案せられているが熔鋼の鑄込作業の實態に就てはその報告が餘りない様である。

然し乍ら製品に發生する事故の中には明かに造塊作業の缺陷に起因すると見られるものも多く適切合理的なる造塊方法の確立が必要である。よつて造塊作業改善の第一歩として過去數年間にわたる記録を統計的に整理調査した。茲にその一般的傾向を取纏めて報告する。

II. 調査要領

(1) 調査範圍

第1表に示す化學成分を有する酸性及び鹼基性兩平爐の各鋼種につき6~60tの鋼塊總數約3000本を對象とした。註1)

(2) 調査方法

各鋼種鋼塊別に鋼温、鑄込温度、鑄込時間(鑄込速度)懸堰ノズルの徑及び熔鋼の流出落下狀況並に鑄型より抜取後の鑄肌の状態等を測定或は觀察し更に爾後の加工、處理(鍛鍊、熱處理、機削等)中に發生せる各種缺陷及び事故について詳細に調査した。

その測定及び判定の基準を夫々第2~4表に示す。

更に鋼塊全體としての鑄肌の判定は第4表に示す要領

第1表 對象鋼種の化學成分(%)

符 號	成 分 鋼 種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
		B2	炭 素 鋼	·20/·37	·20/·30	·30/·50	<·045	<·040	—
BCX	ニッケルクロム鋼	·30/·35	〃	〃	<·035	<·035	1·0/2·0	·50/·90	—
BCr	クロム鋼	·85/·90	〃	·20/·30	<·025	<·025	—	1·6/1·8	—
MC	クロムモリブデン鋼	·60/·70	〃	·30/·40	<·035	<·035	—	1·5/2·0	·20/·40

* 株式會社日本製鋼所室蘭製作所研究部

註 1) 全鋼塊共懸堰使用、上注ぎ法である。

第2表 鑄込条件の測定基準

区分	測定基準	単位
出鋼温度	出鋼後受鋼終了までを初期、中期、終期に区分し3回光高温計によつて測定してこれを平均する。	攝氏度
鑄込温度	懸堰ノズルより落下開始1~2分後に鋼浴を光高温計により測定する。	
鑄込速度	鑄込開始より押湯部位に至る迄の時間又は単位時間に鑄込まれた熔鋼重量を以て表す。	註 ²⁾ 分, 又は t/分

註 2) 一般に公稱越数と押湯下端までの重量との間には下表の如き関係がある。

公稱越数	押湯重量	本體重量	底部重量	鋼塊總重量	公稱越数	押湯重量	本體重量	底部重量	鋼塊總重量		
6	1.040	5.000	330	6.370	18	B	4.200	13.750	700	18.650	
8	1.360	6.300	330	7.990		A	2.980	14.000	700	17.680	
9	B	1.400	7.000	330	8.730	25	B	4.240	20.000	1.200	25.440
	A	1.400	7.000	330	8.730		A	4.300	19.500	1.200	25.000
12	B	2.195	9.600	570	12.365	30	5.400	24.600	1.200	30.600	
	A	2.270	8.800	570	11.640	35	7.700	28.400	2.500	38.600	
15	2.120	12.490	570	15.180	40	7.400	31.200	1.200	39.800		
16	2.650	12.500	570	15.720	45	7.400	35.500	2.500	45.400		
					45	7.400	35.500	2.500	45.400		
					60	10.750	46.000	2.500	59.250		

で鋼塊の各部分的に等級を定めこれにより第5表に示す如くその部位により探點しこれを總和して全體としての等級を定めた。

III. 調査結果及びその考察

(1) 鑄込速度と鑄込温度及び懸堰ノズルの径との關係**

鑄込速度は鑄込温度、懸堰湯溜りの深さ、懸堰ノズルの径の大きさ、熔鋼の流動性及び熔鋼による懸堰ノズルの侵蝕等の諸因子によつて左右せられることは周知の通りである。

今各鋼種、鋼塊大き別に鑄込速度と鑄込温度及び懸堰ノズルの径との相關々係より實驗式を求めた。各鋼種共何れも同一傾向を示しているがその一例を第6表及び第1圖 a, b に示した。

但しこれらの實驗式は熔鋼が流出し得なくなる温度(即ち凝結温度)をC鋼及びNi-Cr鋼は1500°C, Cr鋼及びCr-Mo鋼は1480°Cとして鑄込速度が漸次連続的に遅くなりこの温度に於て零になると假定して算出せるもので假定凝結温度より大略5°C高き附近より1550°C附近までを適用範圍とした。

i) 鋼種による特性

鋼種による三者間の關係の特性は第1圖及び第2圖に

示す如くCr鋼及びCr-Mo鋼の鑄込速度は一般に前者は遅く後者は速いが兩者共鑄込温度及び懸堰ノズルの径の變化による影響を非常に大きく受ける。又C鋼及びNi-Cr鋼の鑄込速度は兩者共低温に於て少々早めではあるが前者は鑄込温度による影響が大きく後者は大體中間的な傾向を示し鑄込温度及び懸堰ノズルによる影響は餘り大きくない。

今熔鋼鑄込の際の現象を水力學的に考え

$$Q = A \cdot S \cdot K \sqrt{2gh} \quad \text{但し } Q = \text{鑄込重量 (kg/sec)}$$

$$A = \text{ノズルの斷面積 (cm}^2\text{)}$$

$$S = \text{熔鋼の比重}$$

$$K = \text{排出係數}$$

$$g = \text{重力の加速度}$$

$$h = \text{懸堰湯溜りの深さ (cm)}$$

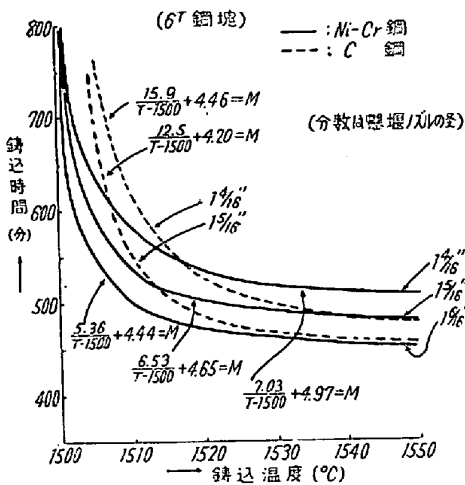
の式を適用すると温度により左右せられるのはS及びKである。今S×Kの各鋼種の温度による變化を求めると第3圖の如くで前述の關係が明らかに認められる。

以上の點を鋼浴成分から考えるとC及びCr量の高いものは鑄込温度による影響を受け易くNiの添加はこの傾向を減少せしめ又Moの添加は鑄込速度を早くするが温度による影響を大きく受け易くする傾向がある。

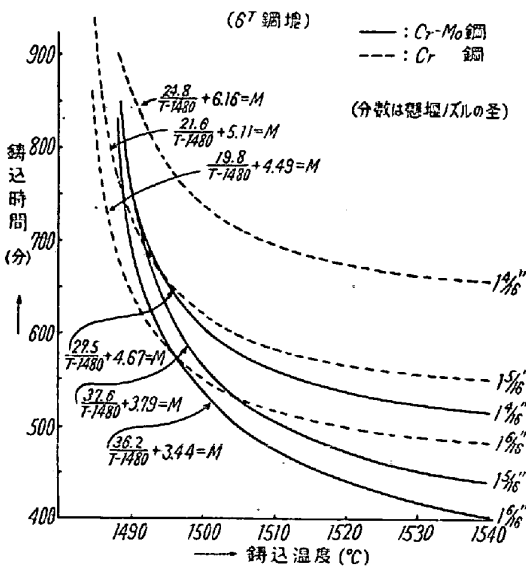
ii) 爐種による特性

酸性及び鹽基性兩平爐鋼の特性に就て一例としてC鋼の場合(Cr-Mo鋼も同一傾向である)を第4圖に示せば後者の鑄込速度は極めて遅く鑄込温度による變化が著しい。

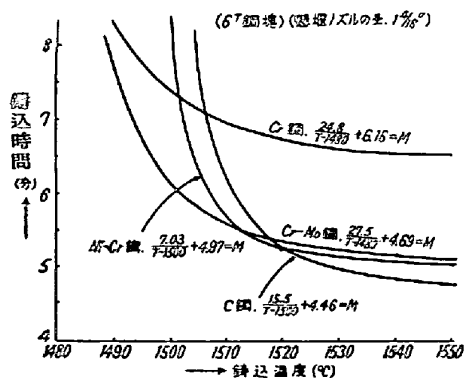
** 原: 學振 19 小委, 報告Ⅷ (三者間の關係に就て述べている)



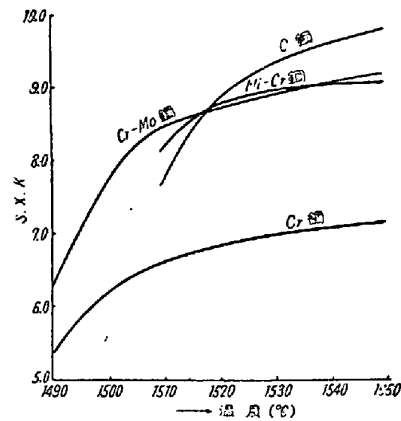
第1圖 a 鑄込時間と鑄込温度及び懸堰ノズルとの相關々係



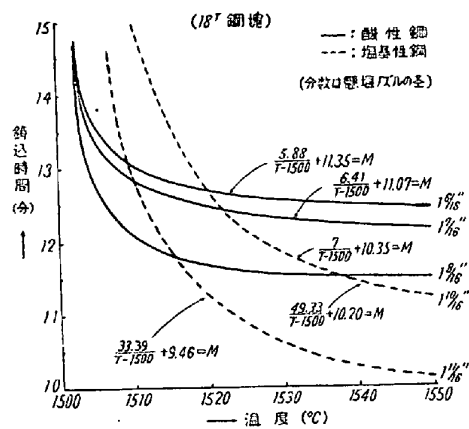
第1圖 b 鑄込時間と鑄込温度及び懸堰ノズルとの相關々係



第2圖 鑄込時間と鑄込温度及び懸堰ノズルとの相關々係



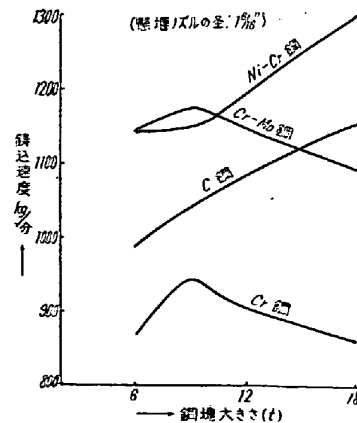
第3圖 各種温度に於ける流動性の鋼種による比較



第4圖 酸性及び燻基性鋼の鑄込温度による鑄込速度の變化の差異

iii) 鑄込速度と鋼塊大きとの關係

一般に同一の懸堰ノズルを使用せる場合でも鋼塊の大きに比例して鑄込時間が長くなるのでノズルの侵蝕により平均の鑄込速度が早くなる。この關係を第5圖に示す。



第5圖 鋼塊大きと鑄込速度との關係

圖に於てC鋼及びNi-Cr鋼は鋼塊の大きに比例して鑄込速度が速くなりCr鋼及びCr-Mo鋼は鋼塊が


第3表 流出落下状況判定基準

等級	流出の状況	飛沫状況
A	振動又は裂けずに一本となつて静かに流出する状態	注入面に於ける飛沫が殆んどない
B	振動又は裂け勝ちなる場合	注入面の飛沫が少々多い
C	終始振動又は裂け氣味に加え時々亂注の場合	同上
D	終始振動大で裂け勝ち且つ亂注が多い	注入面の飛沫が多い
E	鑄込中亂注時期 60% 以上の場合	注入面の飛沫が特に多い
亂注	懸堰ノズルの口より飛散しその飛沫が直接鑄型内面に附着せる場合	
註	正しく鑄型の中心に落下せざるときは一等級下げる	

第4表 鑄肌の判定基準

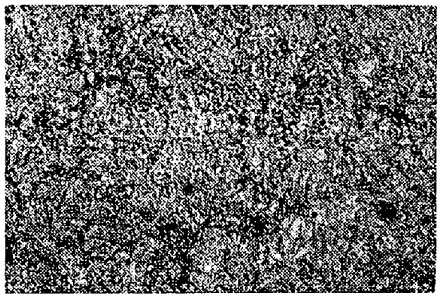
表面の平滑度、精粗、砂噴、ノ口噴、湯切れ等の有無により判定する

等級	摘要
A	總體的に表面平滑なるもの 表面一見平滑なるも全面に微小の凹凸又は飛沫の凝固せるもの 寫眞 (下圖参照) 飛沫凝固の痕跡多く又皸肌を生じ湯境を生ぜるもの 同上程度の更に甚しいもの
B	
C	
D	




A 級

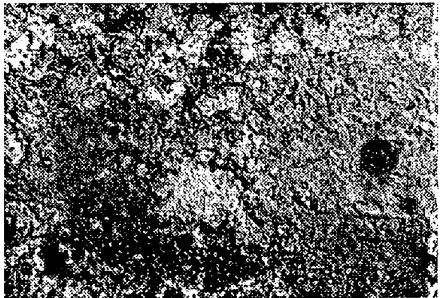
鑄肌の判定基準寫眞



B 級



C 級



D 級

第5表 鋼塊鑄肌判定表示基準

a) 鑄肌點數對照表

等級	位置			
	イ	ロ	ハ	ニ
Af	1	2	2	2
Bf	2	3	3	3
Cf	3	4	4	4
Df	4	5	5	5

ニ
ハ
ロ
イ

b) 鋼塊全體としての等級判定基準

等級	級	Af				Bf				Cf				Df	
總	和	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		

第6表 各種鋼塊の鑄込時間と鑄込速度及び懸堰ノズルの径との関係(一例)

実験式	A Tc-Ts + B=M						M: 鑄込時間(分) Tc: 鑄込温度(°C) Ts: 凝結温度(°C) A: 鑄込温度に関する常数 B: その他に関する常数								
	爐種	鋼種	鋼塊 大小	懸堰ノズ ルの径	A	B	Ts	爐種	鋼種	鋼塊 大小	懸堰ノズ ルの径	A	B	Ts	
酸性 平 爐	C鋼	18t	1 6/16	5.88	11.35	1500	酸性 平 爐	Cr鋼	6t	1 4/16	24.8	6.16	1480	1 7/16	6.41
			1 8/16	7.00						1 5/16	21.6			5.11	
										1 6/16	19.8			4.49	
	C鋼	6t	1 4/16	15.9	4.46	1500		Cr- Mo鋼	6t	1 4/16	27.5	4.67	1480	1 5/16	37.9
										1 5/16	36.2			3.79	
										1 6/16	33.39			3.44	
Ni-Cr 鋼	6t	1 4/16	7.03	4.97	1500	鹽平 基 性爐	C鋼	18t	1 10/16	49.33	10.20	1500	1 5/16	6.53	
									1 11/16	33.39			9.46		
									1 6/16	5.36			4.44		

第7表 造塊作業の一般的向の概括

鋼種による鑄込条件の差異

鋼種	C鋼	Ni-Cr鋼	Cr鋼	Cr-Mo鋼
鑄込速度	低温でやゝ速目	C鋼と略々同じ	一番おそい	速い
鑄込速度の温度による影響	やゝ大きい	小さい	大きい	非常に大きい
鑄込速度の懸堰ノズルの径による影響			大きい	
鋼塊大きさと鑄込速度との関係	比例して大となる	急激に比例して大となる	9tまではやゝ急激にも比例して大となる以後急激に小となる	9tまでは比例して大となるも以後漸次小となる

爐種による鑄込条件の差異

爐種	酸性鋼	鹽基性鋼
鑄込速度	速い	おそい
鑄込速度の温度による影響	小さい	大きい
懸堰ノズルの影響	兩者略々同等である	
備考	鑄込状況は一般に鹽基性のものは不良である	

餘り大きくなると却つて鑄込速度を減少する。これは前述の如く鑄込温度の影響を大きく受けるため鑄込時間の延長と共に必然的に鑄込温度の低下を來たすことによるものと考えられる。

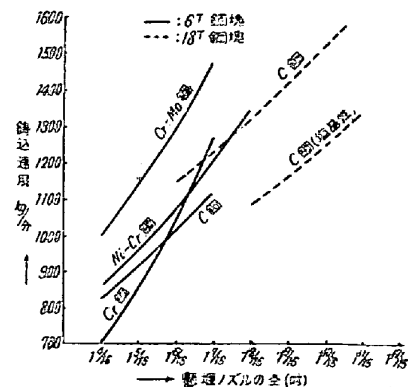
然しC鋼は總體的に流動性が良好なので鑄込速度は鑄込温度に相當影響されるにも拘らずこの影響が現われなまいものと思ふ。

iv) 懸堰ノズルの径と鑄込速度との關係

第6圖に示す如く懸堰ノズルの径に比例して當然鑄込速度は大となる。その程度は各鋼種共大體同様であるがCr鋼はやゝ大きい。又前述の如く酸性鋼は鹽基性鋼に比して鑄込速度が遅い。

v). その他

先に述べた如く鑄込速度には懸堰湯溜りの深さも大なる



第6圖 懸堰ノズルの径と鑄込速度との關係

の影響を有する。本調査に於ては大鋼塊は小鋼塊のものより大型の懸堰を使用しているがその深さは大體 30cm 前後であり鑄込中常に變動をするので同一と見做し茲で

第8表 鑄込状況と鋼塊鑄肌との関係

鑄肌程度	鋼塊大きさ	鑄込状況			
		A	B	C	D
鑄肌程度	6t	なし	殆んど全部 Bf	Bf; 75% Cf; 25%	Cf; 100%
	9t	Af; 50% Bf; 50%	Bf; 50% Cf; 50%	Bf; 40% Cf; 60%	Bf; 50% Cf; 50%
	12t	Af; 80% Bf; 20%	Af; 50% Bf; 50%	なし	なし
	18t	Af; 60% Bf; 40%	Bf; 60% Af; 40%	なし	なし
	25t				

- 備考 (1) 鑄型の径の細き鋼塊も含めてある。
 (2) 大型鋼の鑄込は一般に一懸堰一本落しで小型は一懸堰二本落しのため前者に比して後者の鑄込状況は全般に不良である。
 (3) 小型鋼塊に於て鑄込状況不良の場合でも鑄込温度高きときは比較的良好な鑄肌を得る。

は省略する。

vi) 概括

以上造塊作業の一般的傾向を概括すると第7表の如くなる。

(2) 鋼塊鑄肌と造塊作業の諸条件

鋼塊は内部的に健全なることが勿論第1条件ではあるがその鑄肌も爾後の加工に大なる影響を有している。然して鋼塊鑄肌の良否は造塊作業に影響されることが多いのでこの観察により造塊作業の状況を推測することも或程度可能である。依つて造塊作業条件と鋼塊鑄肌との関連性に就て調査した。

一般に鑄肌は鋼塊の大小によつてその生成の際受ける影響が著しく異なるので一應小型と大型に区分した。

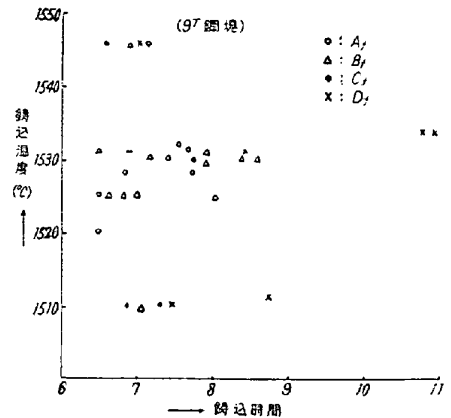
i) 小型鋼塊 (主として 12t 以下)

小型鋼塊の場合鑄肌は鑄込速度及び温度によつて左程大なる影響を受けない。その一例として第7圖に 9t 鋼塊の場合を又全體の状況を第8表に示した。

小型鋼塊は懸堰ノズルからの注入状況によつて影響を受ける。即ち鑄込の状況不良のもの、鑄肌はその程度に比例して低下する。これは鑄型の内径が小さいため鑄込状況が悪い場合受注面の飛沫又はノズル口よりの直接の飛沫が側壁に附着凝固するためと考えられる。但し鑄込温度高きときは附着しても凝固せず流下或いは熔融するので幾分鑄肌は良好となる。

ii) 大型鋼塊 (主として 18t 以上)

大型鋼塊は鑄型の径が大なるため特にその内径が細いもの以外は小型鋼塊の如く注入状況には殆んど影響されない。一般に鑄込温度が高ければ湯皺を生ぜず良好な鑄肌になるとされているが鑄型内面の地疵がそのまま現わ



第7圖 鋼塊鑄肌と鑄込温度並に鑄込速度との関係

れ長期使用せる鑄型に於ては反つて不良となる場合が多い。又温度が低ければ湯切れ等の疵を生ずることは周知の通りである。

鑄込温度は 1520~1540°C の範囲が最も適當で同時に鑄込速度 12~14分/18t, 15~17分/25t の場合に鑄肌が良好である。注入状況に殆んど影響されないのは注入時飛沫が側壁に附着しない爲と考えられる。

iii) 鑄型内面の状況と鑄肌

鑄型の内面は平滑にして疵のないのが良いことは當然であるが使用回数多きものは疵を生じ鑄肌に悪影響を及ぼす。特に鑄込温度高き時は前述の如き影響が多く現われている。

塗料は一般に無水タールを使用せる場合は良好であるが黒鉛を使用すると鑄込条件に左右せられた儘の鑄肌となる。

iv) 概括

以上鋼塊鑄肌と造塊作業の諸条件との関係を概括すれば第9表の如くである。

第9表 鑄肌と造塊諸条件

鋼塊大小	大型鋼塊 (18t以上)	小型鋼塊 (12t以下)
鑄込温度	1520~1540°C で良肌のものが多い	餘り影響を受けない
鑄込速度	12~14分/18t, 15~17分/25t が良好	
鑄込状況	鑄型の徑細きもの以外影響なし	大なる影響を受ける
黒鉛塗料	鑄込諸条件に左右せられたるまゝの鑄肌となる	
無水タール	一般的に良肌のものを得る	

鑄込中の薬の投入は良結果を得る。

(3) 鋼塊に發生する各種缺陷と造塊作業の諸条件

鋼塊の加工々程に於て發生する地疵(鍛造疵, 砂疵, ゴースト等)の原因に就ては従來多數の研究報告がありこれ等は精鍊作業に密接な關係があつてその根本的解決は精鍊過程に求めるべきである。然し造塊作業の適否も亦鋼塊の良否に尠からざる影響のあることは屢々謂われているがその報告は殆んどない様である。

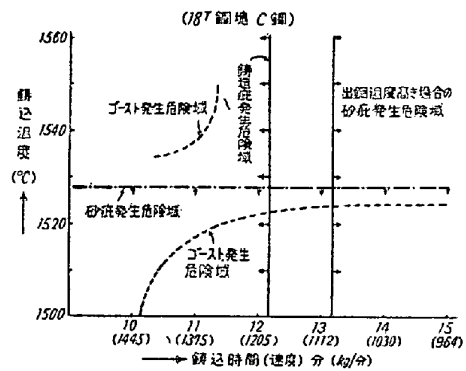
一般に造塊作業の基本的原則として高温出鋼低温鑄込が謂われているが極めて抽象的で、この原則に必ずしも適合しない場合も二、三に止まらない。

筆者等は造塊作業と鋼塊に生ずる二、三の缺陷との關連性を現場的調査資料に基いて整理したがその結果を概括して第10表に示す。

更に酸性平爐炭素鋼大型鋼塊に就て各種缺陷の發生危險域を例示すれば第8圖に示す如くである、

第10表 各種缺陷と造塊作業との關係

缺陷	鍛造疵	砂疵	ゴースト
造塊条件			
出鋼温度	1600°C 以上で發生率高い。これは小型鋼塊程明瞭である。	1655°C 以上では發生しない。1645°C 以下では殆んど全部發生している。	1660°C 以上で急速鑄込、それ以下で鑄込速度遅きものに發生する。
鑄込温度	大型鋼塊はあまり明瞭な關係は認められないが 1540°C と 1510°C 附近に夫々稍々發生率が高い。小型鋼塊は 1535°C 附近以上で發生が大である。	高温鑄込が發生率低い。但し高温でも鑄込速度が遅くなると發生率高い	1535°C を境として出鋼温度と全く同傾向である。
鑄込速度	大型鋼塊は早いものに小徑鋼塊は遅いものに發生する。	遅きものに發生が多い。	低温鑄込のものは低速、高温鑄込のものは急速なる鑄込速度で發生が多い。
鑄込状況(注入)	流出状況良好なる場合は餘り關係がないが D 以下では大部分發生している。	關係は明瞭でない。	
爐種	鹽基性は酸性に比較して發生率高い。		



第8圖 各種缺陷の發生危險域

出鋼温度:— 高温熔解を目標としているが出鋼温度が高ければ脱酸生成物、混入耐火材料等非金屬介在物の浮揚上昇が容易で砂疵防止に効果があり、更に鑄込開始迄の靜置時間を延長し得るので 1645°C 以上が必要である。

然し高温に過ぎれば鋼種により耐火材の浸蝕が大となり事故の原因となる。

鑄込温度:— 造塊作業条件中鑄込温度が最も重要にしてこれが鋼塊の砂疵、偏析、殘留應力、結晶粒度等に大なる影響を及ぼすことは周知の通りで高過ぎれば鍛造疵、ゴースト等が、又低ければ砂疵の發生が大となる。更に鑄肌は一般に高い方が良好とされている。

本結果から砂疵防止の爲には 1530°C 以上を必要とし鍛造疵は 1540°C 以上及び 1510°C 附近に危險域があり、鑄肌は 1520~1540°C が適當である。従つて 1535°C 附近が最も安全な範圍と考えられゴーストもこの附

近の温度で鑄込速度の遅いものに殆んど発生していない。

鑄込速度:— 鍛造疵は 1170kg/分以上に発生多く砂疵は出鋼温度が高ければ影響ないが低い場合は 1110kg/分以下に発生が多い。又ゴーストは熔鋼の液相線に留まる時間が短かければ偏析が少ないので鑄込速度は 1200kg/分以下が適當である。

以上の諸點を考慮して大體 1150kg/分が最適である。

懸堰ノズルの徑:— 鑄込温度と鋼塊の特性に應じて前述の結果から最適の鑄込速度を得る爲のノズルの徑を選定する必要があり鑄込温度 1535°C 鑄込速度 1150kg/分を求めると第4圖より $1\frac{6}{16}$ 吋を適當とする。

IV. 結 言

以上現場的な調査資料より造塊作業に現われた一般的傾向と鋼塊に發生する各種の缺陷に就て述べたが資料の不足により完全なる統計的結論を導き得ず又獨斷的な點も多々あるが更に適切合理的なる作業基準の確立を圖る爲調査並に實驗を引續き行つている。

終りに本報告の發表を許可せられたる株式会社日本製鋼所室蘭製作所々長鴨下克己氏に感謝すると共に御指導を賜りたる研究部第三課長前川靜彌博士並に御援助を頂いた研究部員小松文彦氏に深謝する。

又本研究遂行に種々御便宜、御助言を賜りたる熔鋼工場長館野萬吉並に係員上田芳夫の兩氏に厚く御禮申上げる。(昭和 26 年 10 月寄稿)

キュポラ可鍛鑄鐵の改良に就て

(昭和 26 年 10 月本會講演大會にて講演)

下 村 力*

A CONTRIBUTION TO IMPROVE THE CUPOLA MALLEABLE IRON

Tsutomu Shimomura

Synopsis: The improvement on the cupola malleable iron was discussed by the duplex melting practice using 2t-cupola and 4t reverberatory furnace.

The molten metal in the cupola was transferred with its slag into the reverberatory furnace, the slag was skimmed off, and the melt was adjusted in its composition and deoxidized. In this practice the relation between the chemical composition of the slag formed in the cupola and the mechanical properties of the annealed products was examined.

When all the melting conditions except the blast-one were constant and the subsequent annealing cycle is also constant, the mechanical properties of the product were considerably influenced by the ratio CaO/SiO_2 of the cupola slag even if the chemical composition of the melt appeared constant.

When the ratio CaO/SiO_2 in the cupola slag was increased, the graphitization cycle could be shortened and the mechanical properties of annealed products are improved. To improve the properties of the products, the oxidation of molten iron in cupola must be avoided as much as possible and the superheating of melt in the forehearth (in this case reverberatory furnace) was absolutely needed.

I. 緒 言

キュポラ可鍛鑄鐵は電氣爐可鍛鑄鐵に比べて、熔銑の精鍊作業を充分に行い難いためにその機械的性質は後者に比して劣るのが通例である。可鍛鑄鐵の性質が銑鐵の

熔解法に著しく影響せられるところから、キュポラ可鍛鑄鐵を改良するにも先づ銑鐵の熔解を吟味するの必要を感じ従來行われて來た酸性キュポラ操業を主として熔銑と

* 株式会社櫻井製鋼所