

## 特 別 講 演

### 大型スラブの連続鋳造について\*

西 郷 吉 郎\*\*

#### Continuous Casting of Wide-Slabs.

Kichiro SAIGO

#### I. 緒 言

昭和35年末に八幡製鉄株式会社光製鉄所に大型スラブの連続鋳造設備が完成し、試験操業を開始した。その主なる目的は 50 t 電気炉よりの溶鋼をもつてステンレス鋼の大型スラブを鋳造せんとするにあつた。その最大寸法は巾 1250mm 厚さ 150mm である。一方また 10 t 電気炉と結び 250mm 角、あるいは 200mm 丸などのステンレス鋼および特殊鋼のブルームを鋳造せんとするものでもあつた。

このような大型スラブの連続鋳造は当時世界に例がなかつたことにもよるが、光製鉄所においてはステンレス鋼の溶製ははじめての経験であり、またこれが技術確立に相当の時日を要したため、生産操業に入るまでにはかなりの長日月と、苦勞とを要したが、今日では操業はまつたく安定し、18Cr-8Ni 鋼については溶鋼対スラブ歩留は 97% 以上を得、品質も優秀である。この他試験としては 18Cr 鋼の大型スラブについても行なつてはいるが、同様に歩留も良く、品質も良好であると思われるので、近く生産操業に入る予定である。ブルームについては、18Cr-8Ni 鋼あるいは軸受鋼などいずれも品質歩留共に良好である。

このように連続鋳造のスラブあるいはブルームは品質、歩留共に良く、したがつて製造原価が安く、しかも設備の建設費が少なくてすむので、今後の大きな発展が予想される。特に大型スラブの量産設備として連続鋳造が最近注目されるにいたつたので、ここに光製鉄所におけるステンレス鋼の大型スラブの連続鋳造の現況について発表する。

#### II. 世界における連続鋳造の現況

現在、世界における連続鋳造設備はデーターのはつきりしたものだけを拾つてみても、建設中のものを含めて 57 基の多きを数えている。このほかに計画中のものも相当数あり、生産能力 100 万 t/年以上のものも検討されているようである。

第 1 表はこれを国別に鋳片のサイズ別に示したもので

第 1 表 各国連続鋳造設備基数

国 名	鋳 造 最 大 巾 (mm)				合計
	801 以上	800~501	500~201	200 以下	
ア メ リ カ	1	0	1	1	3
南 ア フ リ カ	0	0	0	1	1
イ ギ リ ス	4	0	4	5	13
イ タ リ ヤ	0	0	0	2	2
イ ン ド	0	0	0	1	1
オーストラリア	0	2	1	1	4
オーストラリア	0	0	0	1	1
カナダ	0	1	0	1	2
スウェーデン	0	0	0	1	1
スペイン	0	0	0	1	1
ソ連	0	0	0	1	1
西 独 本	2	2	3	2	9
日 本	2	0	3	0	5
ノルウェー	1	1	1	0	3
フランス	0	0	0	1	1
ブラジル	0	0	2	3	5
ペルー	0	0	0	1	1
メキシコ	0	0	0	1	1
合 計	10	6	15	26	57

第 2 表 年度別連続鋳造設備稼働基数

稼働開始	鋳 造 最 大 巾 (mm)				合計
	801 以上	800~501	500~201	200 以下	
1950年以前	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0
52	0	1	0	1	2
53	0	2	0	1	3
54	0	1	1	0	2
55	0	0	0	1	1
56	0	0	0	0	0
57	0	0	1	0	1
58	0	0	1	1	2
59	1	0	0	2	3
60	3	0	4	2	9
61	1	0	0	4	5
62	2	0	2	4	8
63	3	1	3	7	14
未 詳*	0	1	3	3	7
合 計	10	6	15	26	57

\* 稼働開始時期未詳のもの

\* 昭和38年4月本会第48回通常総会における服部賞受賞記念特別講演

\*\* 八幡製鉄株式会社取締役光製鉄所所長

ある。国別にはイギリス、ソ連に多く、サイズ別には1辺 200mm 以下のピレット用がもつとも多いが、巾800mm以上の大型スラブ用のものも 10 基ある。この中には巾 1500mm のスラブを铸造し得るものが3基含まれている。

第2表は建设年度別に調べたものである。1960年以降において、その数が急増し合計 43 基にのぼり、全数の75% を占めている。ことに大型スラブの連続铸造設備は 1959 年に最初の1基が建设されているが、これが光製鉄所のもので、それ以後にわかに建设が相つぎ、大型スラブの連続铸造がしだいに世界の注目を集めるにいたつたのである。

第3表は型式別に纏めたものであるが、ロッシー法によるものが 32 基で全体の過半を占めている。ことに大型スラブ用は 10 基中6基がロッシー法である。

第4表は大型スラブ用連続铸造設備 10 基の仕様の概要である。型式の名称は異なるがいずれも铸型は上下動

式になり、ロッシー法と大同小異なものになってきたようである。

鋼の連続铸造は大型スラブにおいても従来は特殊鋼、ステンレス鋼などの少量生産設備とされていたが、近年の進歩は普通鋼の量産設備としての方向に進みつつある。すなわちスラブを2枚ないし4枚同時に铸造する方法、あるいは铸造されたスラブを曲げて水平に取出す方法などはすでに採用されている。また連続铸造といつても、従来は1チャージだけの铸造であつたが、ソ連においてはすでに2チャージ、260t を連続して铸造したと報告されているし、また何チャージでも連続して铸造し得る可能性も説かれている。鋼種としては従来は普通キルド鋼にのみ用いられていたが、近年はリムド鋼についても試験されているし、またキルド鋼の中でも Al キルド鋼は流動性が悪く铸造困難なものであるが、その試験も試みられている。

### III. 光製鉄所における連続铸造設備

光製鉄所における連続铸造設備はロッシー法によるもので、チューリッヒのコンキャスト会社の設計と仕様とにもとづいて住友金工業株式会社がこれをまとめ、住友機械工業株式会社が製作据付けしたものである。

第1図はその概要図である。主要部は、(1) タンディッシュ、(2) 铸型、(3) ローラ・エプロンおよび冷却水スプレイ装置、(4) ピンチ・ロール、(5) 切断装置、(6) 铸型上下動装置、ピンチ・ロール駆動装置およびそ

第3表 型式別連続铸造設備基数

型 式	铸 造 最 大 巾 (mm)				合計
	301 以上	800~501	500~201	200 以上	
Rossi	6	1	7	18	32
SSG/OSIG	1	3	4	2	10
B.I.S.R.A.	1	0	0	1	2
ソ 連	2	2	3	2	9
そ の 他	0	0	1	3	4
合 計	10	6	15	26	57

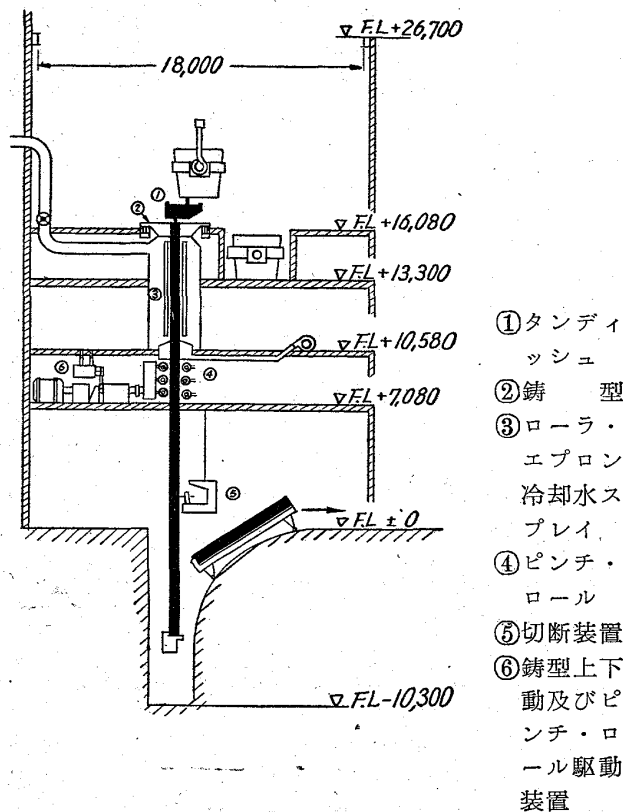
第4表 世界の大型スラブ用連続铸造設備一覧\*

国 名	設置工場名	稼動開始	型 式	鋼 種	ストラ最大铸造寸法 ンド数 (mm)	炉	取 鍋	切断搬出	
アメリカ合衆国	McLouth steel Co.	1963	Rossi	ステンレス鋼 リムド鋼	1	1520×140	60 t E.F.	ストッパー式	垂直切断
	Barrow Steel Works	1960	Rossi	炭 素 鋼	1	915×130	7.5 t E.F.	傾 注 式	垂直切断
イギリス	Richard Thomas & Baldwin Panteg Works	1962	Rossi	ステンレス鋼	1	1520×125	E.F. O.H.	傾 注 式	垂直切断
	Shelton Iron & Steel	1963	Rossi	炭 素 鋼	3 2	940×200	55 t カルド	傾 注 式	垂直切断
	The Steel Company of Wales, Abbey Works	1963	B.I.S.R.A.**	リムド鋼	2	1220×200	60 t V.L.N	ストッパー式	垂直切断
西 独	Dillinger Hüttenwerke A.G.	1961	Rossi	炭 素 鋼	1	1520×200	30 t O.L.P	ストッパー式	バンディング
	Mannesmann Grillo Funke Works	1962	SSG/ÖSIG	炭 素 鋼	4	1500×225	90 t O.H.	ストッパー式	—
ソ 連	Novo Lipetsk Works	1960	*** Stalproekt	珪 素 鋼 炭 素 鋼	2	1020×170	80 t E.F.	ストッパー式	垂直切断
	Stalino Works	1960	*** Dnieprostal	炭 素 鋼	4	1200×170	140 t O.H.	ストッパー式	垂直切断
日 本	八幡製鉄株式会社 光製鉄所	1959	Rossi	ステンレス鋼	1	1250×150	50 t E.F.	ストッパー式	垂直切断

\* 現在稼動中および建設中のもので、スラブ巾 800mm 以上のものを示した。

\*\* Continuous Casting Co. による铸型上下動式である。

\*\*\* 詳細不明なるも铸型上下動式である。



第1図 連続鑄造設備概要図

これらの同調装置などである。

溶鋼の注入作業は地上 16m の床上で行なわれる。鑄型内の湯面の状況を見ながら注入作業を行なうので、すべての制御装置はこの床上に集中設置されている。ローラ・エプロンは長さ 4400mm あり、多数のガイド・ローラを備えている。これらローラの間から冷却水が多数のノズルによつてスラブにスプレイされる。ローラ・エプロンとスプレイ装置は冷却室に密閉されていて、作業中に発生する大量の蒸気は排気ファンによつて屋外に排出される。

また冷却室下端のスラブの出口には水切装置があつて水の流下を防止している。つぎに3対のピンチ・ロールがあつて、すでに中心まで凝固したとはいえまだ赤熱の状態にあるスラブを一定速度で引抜く。鑄型の上下動は毎分 20~100 往復、往復距離は最大 50mm、上昇速度は下降速度の3倍、引抜速度は最大 4000mm/mn になつている。

スラブの切断は酸素・アセチレン焰に鉄粉を入れたトーチで行なう。切断装置はすべて運転室に納められスラブと同一速度で下降しながら切断する。トーチは2個あり左右両縁から中央に向つてスラブを切断してゆく。その速度は巾 1250mm 厚さ 100mm の 18Cr-8Ni 鋼のスラブの場合に約 2分を要す。長さ 6m~7m に切断され

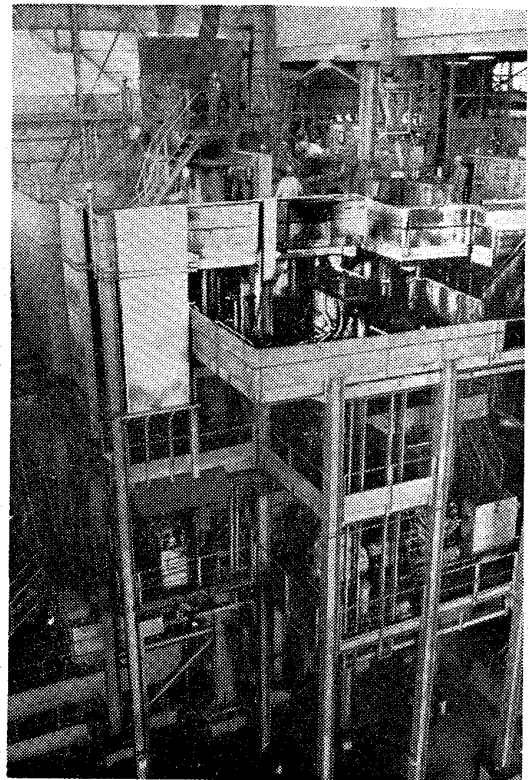


写真1 連続鑄造設備の概観

たスラブは一旦地下 8m の所まで下降し、台車に乗せられて傾斜面を引き上げ地上に搬出される。これらはすべて自動的に行なわれる。

写真1は設備の概観写真で溶鋼を 50t 取鍋からタンディッシュを経て鑄型に注入中の状景である。

鑄型は純銅の鑄造または鍛造の一体物で高さは 600mm である。側壁の内部には多数の孔がうがたれ冷却水が通されるが、大きな流速が熱伝達上必要とされるので特別の工夫が施されている。別に潤滑油用の小孔が鑄型上端面に多数開口している。潤滑油は溶鋼の凝固初期における外殻が鑄型内面に附着するのを防止するとともにその間の摩擦を少なくするために必要なものである。この油の使用によつて凝固初期に発生しやすい横割れは完全に防止され、肌不良も大いに軽減される。また湯面に大きなメニスカスを作りスカムなどの巻込みを防止するに役立つ。一部は燃焼して溶鋼の酸化防止にも役立つものである。

最近スラブの寸法がしだいに大型化してきたが、一体鑄型は寸法が大きくなると急に高価になるので、純銅の厚板を組立てて作った組立鑄型が使用されるようになった。これは単に安価であるのみならず、その使用成績は一体鑄型とあまり変わらず、また内面の再研磨が容易であり、再研磨後ももとの寸法に組立て得るなどの利点がある。

ローラ・エプロンはスラブの薄い外殻を支えて、内部の溶鋼の静圧によつて張り出すのを防止するのが第一の目的であるが、正しいスラブの形状を得るにはかくことのできないものである。連続鋳造が工業化された初期にはこの装置がなく多くの事故を生じたものであつた。健全なスラブを得るには、これと同時に冷却水スプレイの正しい使用を必要とすることはいうまでもない。

タンディッシュは仕切りをもつて2室に分かれ、溶鋼はこの仕切りを潜つて後ノズルより流出する。ノズルはジルコニア製で孔径 17m/m~20m/m のものが3個使用される。

タンディッシュは台車上に乗せられたまま予熱され、鋳造開始直前に鑄型上に移動し固定される。またタンディッシュには傾動装置があり、鋳造終了時の残存スラグあるいは事故などにより鋳造を中止する際には溶鋼を後方の非常用受鍋に傾注するようになってい

#### IV. 鋳造作業

鋳造作業の開始に先立つてつぎの準備をしておく。

(1) ダミー・バーの取付け、三分割されているダミー・バーを組立てながら鑄型の上からピンチ・ロールに達するまで降していく。鑄型とダミー・バーの上端の間には溶鋼が洩れないようにアスベストをつめる。

(2) 軽油で約1000°Cに加熱されたタンディッシュ、(そのノズルは酸素アセチレン焔で赤熱にされたもの)が鑄型上に移動固定される。

(3) 鑄型に冷却水が通される。

(4) 鑄型に潤滑油が供給される。

(5) アルゴン・ガスのバルブが開かれる。これは鑄型内における溶鋼の酸化を防止するめである。

以上で準備が終わり取鍋のストッパーが開かれ、溶鋼はタンディッシュに注入され、ついでタンディッシュ・ノズルから鑄型に注入される。鑄型内の湯面が鑄型の上端から 100mm 程度の所まで上つて来た時に鑄型の上下動が始められる。これはピンチ・ロールと同調しているからダミー・バーは下降し始め、スラブは引抜き始められる。引抜き開始と同時にスプレイ冷却水が通される。引抜きが一定速度になつた時湯面の下りが約 100mm になるように取鍋ノズルの開閉が調節される。湯面に浮ぶスカムはていねいに除去する。

18Cr-8Ni 鋼の引抜き速度は 1100mm/mn である。したがつて溶鋼が鑄型へ注入後、その下端を通過するまでに要する時間は約 27 秒である。この時の外殻の厚さは 12mm~14mm である。この初期凝固速度は鋼塊法におけるよりもかなり早いものである。この薄い外殻で

包まれた溶鋼のスラブはローラ・エプロンのローラで支えられながら、冷却水のスプレイをあびて急冷し約 4 分間で中心まで完全に凝固させられる。この点が鋼塊法といちじるしく異なる所である。しかし冷却が余り急速であると表面に割れが発生するか、あるいは強い鋳造応力が残つて後になつて割れとなつて現われるおそれがある。また冷却があまり緩慢であるとローラ・エプロンを通過後内部の溶鋼の静圧によつて変形を生ずることがある。

引抜き速度、冷却速度あるいは注入温度などについては鋼種と断面寸法とに応じて健全なるスラブあるいはブルームが得られる最適条件を見付けなければならない。それには実物についての試験操業を繰返す以外には方法がない。18Cr 鋼は温度にはしごく敏感で表面割れを生じやすく鋳造が困難であるが、光製鉄所ではすでにこの大型スラブの鋳造に成功している。13Cr 鋼は光製鉄所ではまだ経験はないが同様に敏感な鋼種であるため鋳造困難で、まだこの国においても成功していないようである。

#### V. 生産実績

光製鉄所で現在生産操業をしているものはスラブでは 18Cr-8Ni 鋼だけである。昨年7月から今年4月までの生産実績は 3720 t で鋳造回数は 79 回であつた。

第5表はその歩留を示したものである。溶鋼対スラブ歩留は 95.4%、事故のため鋼塊に鋳造替えしたものが 70 t で 1.9%、残りは鑄屑で合計 103 t、2.7% であつた。

第6表にこの間の事故の内訳を示した。これをみるにタンディッシュ・ノズルの閉塞事故が3回あつた。これは溶鋼の温度が低かつたためである。この場合残り湯を注入替えして 44 t の良塊が得られ、5 t の鑄屑が発生した。つぎに取鍋ストッパーの事故が3回あり、その残り湯を注入替えして得られた良塊が 26 t であつた。またタンディッシュ・ノズル割れが1回あつたが、これは鋳造末期に起こつたので残り湯 1.5 t は鑄屑になつた。そ

第5表 スラブの連続鋳造歩留概要

出 鋼 量		3,720.620 t	100.0%
鑄造内容	鑄造スラブ量(T,B切捨後)	3,547.270 t	95.4%
	鑄造鋼塊量(振替鋳造)	70.460	1.9
	T, B 切 捨 屑	56.460	1.5
	鑄 屑	38.550	1.0
切 断 ス ケ ー ル	7.800	0.2	

昭37年7月~昭38年4月79チャーシ 3720.620 t 連続鋳造向出鋼の内容

第 6 表 連続鑄造事故概要

事故名称	回数 (回)	事故による連続鑄造 不能溶鋼内訳	
		鋼塊に振替 注入 (t)	鑄 屑 (t)
ブレイク・アウト	0	0	0
タンディッシュ・ノズル閉	3	44・180	5・350
塞取鍋ストッパー事故	3	26・280	5・550
鑄型よりオーバーフロー	0	0	0
機器不調	0	0	0
タンディッシュ・ノズル割れ	1	0	1・450
合 計	7	70・460	12・350

昭37年7月～昭38年4月79チャージ 3720・620 t 連続鑄造の間に発生した事故の内容

他の事故は皆無であつた。

取鍋ストッパーの事故は出鋼から鑄造終了までに要する時間が平均 65 分というように相当長時間になるため鑄造の末期近くになつて頭落ちしたものである。その後ストッパーの改良を行なつたので現在ではこのような事故はまったく発生していない。

昨年 10 月 50 t 電気炉に誘導攪拌装置を設置したので溶鋼の温度管理が容易となり、最近はさらに事故が減少している。すなわち昨年 11 月より今年 4 月までの 6 カ月間の溶鋼対スラブ歩留は 97・3% に達している。チャージによつては 98% に達することも屢々あるので、長期的平均として 97・5% は期待してよいのではないかと思われる。この歩留は鋼塊法における溶鋼対スラブ歩留 85% に比し 12・5% の向上である。尚連続鑄造スラブの表面には鑄型の上下動によつて一種のパターンが現われるが、これは極く浅いので容易に除去しうる。したがつてスラブの手入歩留も鋼塊法スラブに比し良好であるから歩留の向上は合計で実に 13% にも達する。

鑄型の寿命については当初大きな関心が払われた。それは先にも述べたように大型の一体鑄型は相当高価なものであるから、あるいは鑄型費が嵩むのではないかと思われたからである。しかしその寿命は案外長いものであることがわかつた。光製鉄所では使用回数もつとも多いものでも、まだ 140 回で、なんら異状も認められず、いつまで使用しうるかわからないが、西独の例では組立鑄型を使用して 1 チャージ 30 t で 1000 回位は可能ではないかといわれている。光製鉄所では 1 チャージ 50 t であることおよびスラブの断面寸法が相違することなどから推算して 500 回位は使用し得るのではないかと考えている。そうすると t 当りの鑄型費は、ステンレス鋼の鋼塊法における鑄型費に比し相当安価になる。今後安価な組立鑄型を使用することになれば、さらに鑄型費を低減することができる。

連続鑄造の作業費を試算してみたが、さきに述べた 13% の歩留向上を補正した作業費すなわち鋼塊法と同じ歩留であつたと仮定した場合の作業費は鋼塊法のそれよりかなり安価であることがわかつた。この計算は光製鉄所の連続鑄造設備の能力を約 1 万 t として、その 60% 稼働について考えたので、分塊工場においても能力 150 万 t/年の 60% 稼働について考えた。

連続鑄造の操業でぜひ触れておかなければならない点は、作業条件のいちじるしい改善であろう。最近の造塊工場は広い鑄型処理場を持つてはいるが、それでもなお、熱い鑄型や定盤の清掃、据付け、押し湯枠の取付け、塗料の吹付作業、あるいは注入作業などは必ずしも近代的であるとはいいがたい。その点連続鑄造はその構造、形式から作業の自動化が可能であり、すでにある程度実現されているものもある。また注入作業も鑄型にごく接近して、ていねいな作業が行ないうるなど環境とともに作業条件はいちじるしく改善されるのである。

## VI. 品質について

連続鑄造法では二次冷却を水でもつて急冷すること、しかも一般に断面が小さいために完全凝固がきわめて短時間に行なわれることが鋼塊法といちじるしく異なる点であるが、これは品質上にも大きな相違をもたらす原因になつている。すなわち連続鑄造によるものは鋼塊法によるものよりも偏析が少なく、より均質で、組織が微細である。このため熱間加工性が優れている。非金属介在物は少なく、スプラッシュによる面倒な問題も全然起こらない。

写真 2 は 18Cr-8Ni 鋼 および 18Cr 鋼の連続鑄造スラブ横断面のマクロ組織である。微細な組織が中心までよく発達している。中心にキャビティはなく、表面下のブロー・ホールもなく、まったく健全である。断面寸法も正確で形状もよい。これらのスラブは鋼塊より圧延されたスラブとまったく同じ加熱圧延によつてホット・コイルにされる。

写真 3 は 18Cr-8Ni 鋼の連続鑄造スラブと鋼塊の断面のマクロ組織を示す。連続鑄造スラブの組織がいちじるしく微細であることがよくわかる。

第 2 図は成分の偏析状態について注入の中期における連続鑄造スラブと鋼塊とを比較したもので、連続鑄造スラブは偏析が少ないことがわかる。ことに偏析しやすい炭素、燐、硫黄の偏析率は鋼塊の場合の半分以下である。

つぎに非金属介在物については精錬に負うところが大きいであるが、造塊法ことに注入方法によつても相違をもたらすものであることはよく知られている。連続鑄造では

溶鋼が小径のノズルから常に同じ静圧の下に流出するため、注入流がよく整つていて静かであり、また注入流の長さが短かつガス・シールしてあるため、空気による酸化も少ない。このため連続鋳造スラブの非金属介在物は鋼塊におけるよりも少なく、かつ凝固が早いいため小さく分散されている。

VII. 結 言

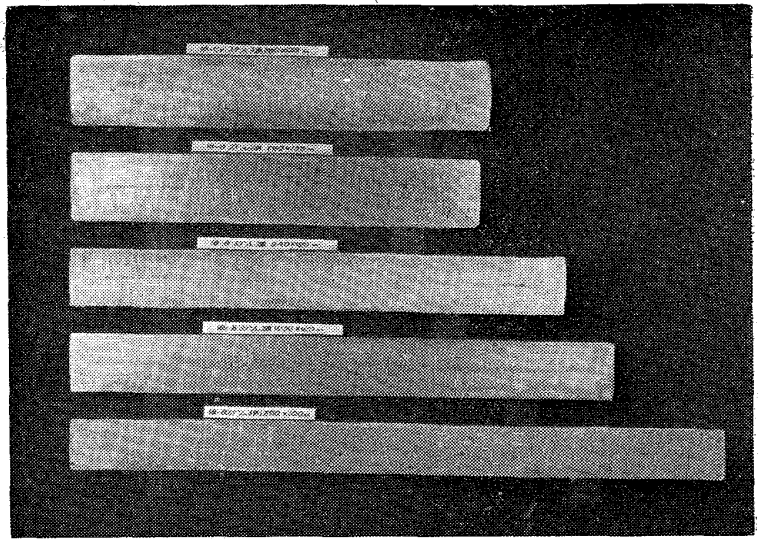
鋼の連続鋳造は工業化されて以来10年あまりの歴史を経て、今日すでに多くの国において多数のものが安定操業されている。数年前までは特殊鋼の少量生産設備として考えられていたが、大型スラブの連続鋳造において、その信頼性と、経済性と品質の優秀性が認められ、しかも量産設備としての性格、操業の自動化への素質を有するものであることが改めて認識されて以来、今や急速なる発達の途上にあるといえる。連続鋳造法では適当な断面の選択と、独自の急速なる凝固の管理を行

ないうるため、鋳片の品質は偏析少なく、均質で、組織もち密で、熱間加工性に優れている。しかし現在の段階においてはまだすべての鋼種が処理できるところまでにはいたっていない。13Cr鋼とかリム

ド鋼などは目下各所で意欲的な試験が行なわれている。ことにリムド鋼は量産鋼種であるだけにもつとも大きな期待が寄せられているところであるが着々と成功への自信を深めているようである。近い将来必ずや解決されるであろう。

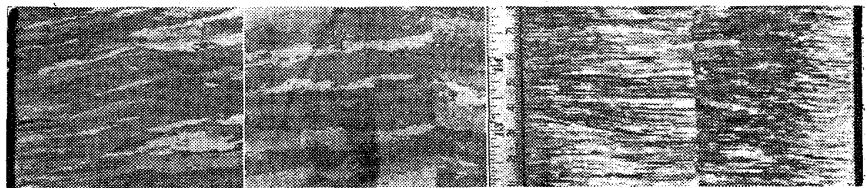
連続鋳造法は近代鉄鋼技術に画期的進歩をもたらしたストリップ圧延法や純酸素転炉製鋼法と同等の高い価値を潜在せるものであると思われるので光製鉄所における連続鋳造はまだ経験も浅く未熟であるが敢てこれを発表した所以である。

(昭和38年5月寄稿)



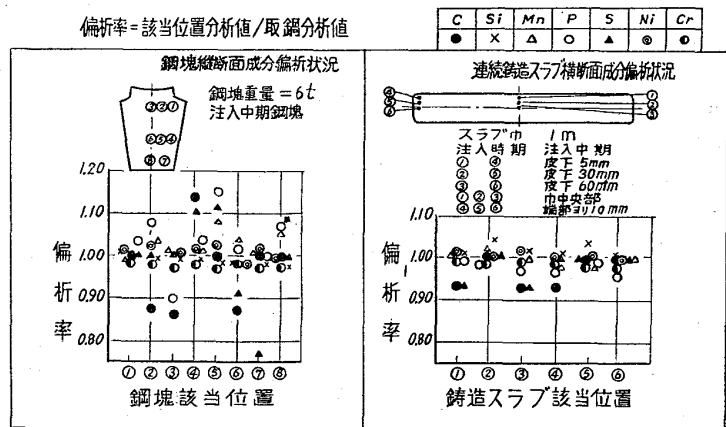
上より 18Cr 鋼：780×135mm  
 18Cr-8Ni 鋼：780×135mm  
 18Cr-8Ni 鋼：940×120mm  
 18Cr-8Ni 鋼：1030×120mm  
 18Cr-8Ni 鋼：1250×100mm

写真2 連続鋳造スラブ横断面のマクロ組織



a. 鋼塊皮下部 (×0.4)      b. 鋼塊中心部 (×0.4)      c. 連続鋳造スラブ厚み方向横断 (×0.4)

写真3 18Cr-8Ni 鋼の鋼塊(6t)と連続鋳造スラブのマクロ組織



第2図 18Cr-8Ni 鋼の鋼塊と連続鋳造スラブの偏析比較