

---

DI 缶用素材としての連铸底炭素 Al キルド鋼の開発

Development of Continuously Cast Low Carbon Aluminium Killed Steel for D.I. Can

飯田 義治(Yoshiharu Iida) 上田 典弘(Tsunehiro Ueda) 江見 俊彦(Toshihiko Emi)  
垣生 泰弘(Yasuhiro Habu) 阿部 英夫(Hideo Abe) 角南 秀夫(Hideo Sunami) 芳賀  
雄彦(Takehiko Haga) 久々湊 英雄(Hideo Kuguminato)

---

要旨：

DI 缶用として必要な鋼板の品質特性を検討し、素材を連铸工程で製造する技術を確認するに至った経過を述べた。DI 法特有の厳しい加工法を絞り性、アイオニング性およびアイオニング加工後の伸びフランジ性で比較すると鋼種としては低炭素 Al キルド鋼が適し、鋼板材質は  $r$  値 1.3 以上、結晶粒度 9.0 以上で、かつフランジ割れや表面欠陥の原因となる厚さ  $2.5\mu$  以上の介在物が極力少ない清浄性に優れたものが望ましい。このような高品質の鋼板を連铸工程で製造する試験を繰返した結果、1)取鍋溶鋼の脱ガス処理、2)タンディッシュへの注入時、ベローズ式シールと注入管の併用、3)2重堰付深型タンディッシュの使用、4)2本型浸漬ノズルの使用、5)高温注入、などの総合効果により安定して製造できるようになった。

---

Synopsis：

Properties of steel strip for deep drawing, ironing and flange elongation after ironing have been investigated. A low-C Al-killed steel strip with the Lankford value  $\geq 1.3$  and ferrite grain size number  $\geq 9.0$  is found most suitable among the steels examined. Flange crack and surface defects are effectively prevented by decreasing the amount of inclusions thicker than  $2.5\mu$  in the strip. A degassing followed by continuous casting process has been developed to commercially produce extra-clean low-C Al-killed steel for D.I. can use. The process is featured by the use of (1) sufficient RH-stirring of fully Al-deoxidized melt, (2) bellows type Ar gas shrouding with immersed type spout during teeming of the melt from ladle to tundish, (3) deep tundish with double dams, (4) two inverted Y type tundish nozzles and (5) teeming of the melt with sufficient superheat.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

## DI 缶用素材としての連鑄低炭素 Al キルド鋼の開発

Development of Continuously Cast Low Carbon  
Aluminium Killed Steel for D.I. Can

飯田 義治\*

Yoshiharu Iida

上田 典弘\*\*

Tsunehiro Ueda

江見 俊彦\*\*\*

Toshihiko Emi

垣 生 泰 弘\*\*\*\*

Yasuhiro Habu

阿部 英夫\*\*\*\*\*

Hideo Abe

角 南 秀 夫\*\*\*\*\*

Hideo Sunami

芳賀 雄彦\*\*\*\*\*

Takehiko Haga

久々 湊 英 雄\*\*\*\*\*

Hideo Kuguminato

## Synopsis :

Properties of steel strip for deep drawing, ironing and flange elongation after ironing have been investigated.

A low-C Al-killed steel strip with the Lankford value  $\geq 1.3$  and ferrite grain size number  $\geq 9.0$  is found most suitable among the steels examined. Flange crack and surface defects are effectively prevented by decreasing the amount of inclusions thicker than  $2.5\mu$  in the strip.

A degassing followed by continuous casting process has been developed to commercially produce extra-clean low-C Al-killed steel for D.I. can use.

The process is featured by the use of (1) sufficient RH-stirring of fully Al-deoxidized melt, (2) bellows type Ar gas shrouding with immersed type spout during teeming of the melt from ladle to tundish, (3) deep tundish with double dams, (4) two inverted Y type tundish nozzles and (5) teeming of the melt with sufficient superheat.

## 1. ま え が き

食缶などに代表される薄肉筒缶の製造は、通常はんだ付けされた胴に上蓋と下蓋をつけたスリーピース缶であるが、近年ビール缶や清涼飲料缶にDI缶(Drawn & Ironed can)が使用されはじ

めた。DI缶は製法の一例をFig. 1に示すように<sup>1)</sup>、深絞りによりまずカップを成形し、カップ外径よりも小さい内径のダイスを数段通過させ、壁厚の減少と長さの増大をはかって製缶するもので、継ぎ目のない胴と底が一体となったツーピース缶である。DI法によるツーピース缶は従来のスリーピース缶と比較して、壁厚が薄く軽量なの

\* 水島製鉄所製鋼部部長代理  
\*\*\* 技術研究所製鋼研究室主任研究員・理博  
\*\*\*\*\* 技術研究所加工研究室主任研究員  
\*\*\*\*\* 千葉製鉄所管理部薄板管理課課長

\*\* 千葉製鉄所製鋼部  
\*\*\*\* 技術研究所製鋼研究室主任研究員  
\*\*\*\*\* 千葉製鉄所管理部部長代理  
\*\*\*\*\* 千葉製鉄所管理部薄板管理課  
(現 川鉄金属工業(株)習志野工場製造部付掛長)

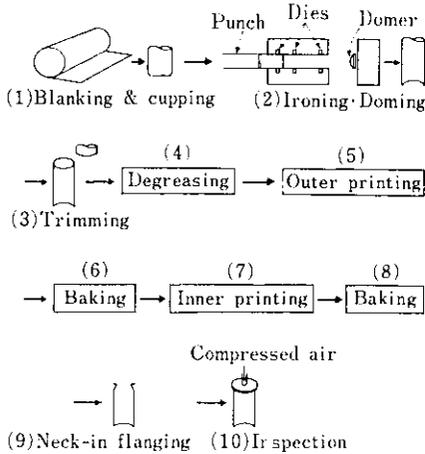


Fig. 1 Processing for D.I. can

で材料費が安価であるうえ、継ぎ目がないので漏れがなく、さらに胴部は全面印刷が可能である、など多くの利点を有しており、今後食缶等にますます多く使用されるものと予想される。

DI 法は1960年代の初めアルミ缶製造用としてアメリカで開発されたものであるが、最近、強度が高いので缶の変形抵抗が大きい、磁力操作が可能なので取扱いや回収が容易である、材料費が安い、などの利点をいかして、ぶりき鋼板にも適用されるようになってきた。DI 缶用鋼板としては DI 法特有の厳しい加工と用途を考慮すると、これまでの各種冷延鋼板以上に加工性に優れ、かつ表面、内部ともに清浄であることが必要で、このような高品質の鋼板を安定して製造するには、製鋼から最後のめっき工程に至るまできわめて高度の製造技術が不可欠である。

本報は、DI 缶用素材を連続鋳造（以下連続）工程で製造する技術の確立に成功する至った開発経過のうち、DI 缶用鋼板として具備すべき品質特性についての検討結果と開発の主体となった連続鋳造における非金属介在物（以下介在物）低減対策を中心にまとめた。

## 2. DI 缶用鋼板としての品質水準の検討

### 2.1 DI 加工に適した鋼種、材質の決定

DI 缶用にぶりき鋼板を適用する場合、具備すべき品質としては、

(1) DI 缶製法特有の絞り、アイオニングおよびカーリング加工性に優れていること、

(2) 表面および内部品質ともに優れ、ピンホールやフランジ割れ欠陥が少く、製缶能率および歩留まりが高いこと、

(3) コイル内の板厚変動が小さく、アイオニング不良缶やショート缶の発生がなく、製缶歩止が高いこと、

などが挙げられる。

本章では、DI 缶用ぶりき鋼板として最適な鋼種を選ぶため、ぶりき用素材として一般に使用されている表面品質の優れたリムド鋼、Al コアキルド鋼および Al キルド鋼について、材質面から比較検討するとともに DI 加工性に及ぼす介在物、結晶粒度などの影響を実験室的に調べ、DI 缶用鋼板としての内部品質水準を検討した。

#### (1) 絞り性

薄鋼板の絞り性は、一般的に  $\bar{r}$  値によって支配され<sup>3)</sup>、強度（降伏点、引張強さ）、延性（伸び）の影響は小さい<sup>4)</sup>ことが知られている。

ぶりきのような低炭素極薄鋼板については、絞り性と  $\bar{r}$  値の関係はほとんど報告されていない。そこで、今回特にぶりき鋼板の  $\bar{r}$  値と限界絞り比 (L.D.R.) との関係、連鋳 Al キルド鋼、Al コアキルド鋼およびリムド鋼について調査した。その結果を Fig. 2 に示す。

ぶりき鋼板についても  $\bar{r}$  値の絞り性に対する影響は大きい。鋼種別では Al キルド鋼が  $\bar{r}$  値、限界絞り比とも最も高く、 $\bar{r}$  値約1.35以上、限界絞り比約2.25以上を示した。

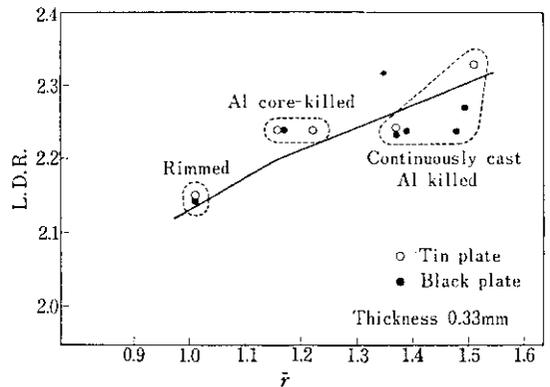


Fig. 2 Relation between  $\bar{r}$  value and L.D.R. value

## (2) アイオニング性

ビール用 DI 缶を対象とした DI 加工工程を次の3通りに設定し、それぞれの工程における鋼種別の不良率を調べた結果を Table 1 に示す。

Table 1 Comparison of ironing property

Steel type	Thick-ness	$\bar{r}$	Dirtiness %	Success ratio of ironing process (%)		
				I *1	II *2	III *3
CC Al killed	0.33	1.53	0.027	100	100	70
Al core killed	0.33	1.16	0.123	100	90	60
Rimmed	0.33	1.01	0.167	100	90	50

Process	Drawing ratio	Ironing reduction ratio*4 (%)		
		1st	2nd	3rd
I *1	2.0	40	60	70
II *2	2.0	40	50	70
III *3	1.85	50	70	75

\*4 Ironing reduction ratio

$$= \frac{t_0 - t_i}{t_0} \times 100\%$$

 $t_0$  : Initial thickness $t_i$  : Thickness after  $i$ 'th ironing process

I 3回アイオニングでの標準工程

II 3回目のアイオニング圧下率を高くし、やや厳しくした工程

III さらに肉厚を薄くすることを目的とした最も厳しい工程

標準工程 I はいずれの材料でも 100% の成功率であり、所定の製品が得られた。やや厳しい工程 II では  $\bar{r}$  値 (1.01~1.16)、清浄度 (0.12~0.17%) の劣った Al コアキルド鋼およびリムド鋼は成功率が 90% 以下と低いが、 $\bar{r}$  値が 1.5 と高く、清浄度が 0.03% と良好な Al キルド鋼は成功率 100% であった。薄肉化を狙った最も加工条件の厳しい工程 III では、どの材料も成功率が低く、Al キルド鋼 (成功率 70%) > Al コアキルド鋼 (60%) > リムド鋼 (50%) の順位になっている。

以上からアイオニング性に関しては、 $\bar{r}$  値と清

浄性の高い Al キルド鋼が最もすぐれていることがわかる。

## (3) アイオニング加工後の伸びフランジ性

DI 製缶では、アイオニング加工後カップ端をトリミングし、その後、蓋取付けのためにカーリング加工するとき伸びフランジ変形をうける。一般にアイオニング圧下率の増加にともない、伸びフランジ性は急激に減少するので、DI 缶用鋼板としてはアイオニング加工後の伸びフランジ性の良好なものが望ましい。

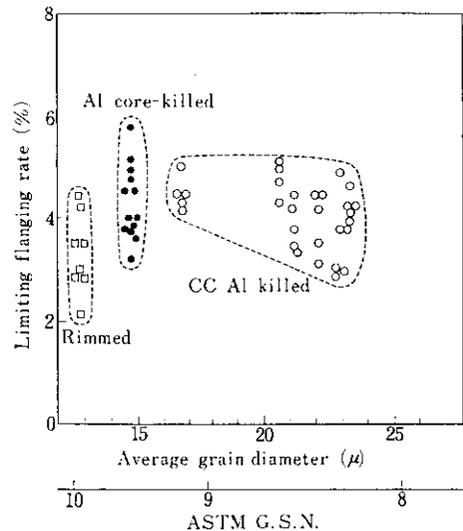


Fig. 3 Influence of grain size on limiting flanging rate after 70% ironing reduction

Fig. 3 にアイオニング圧下率 70% 後の伸びフランジ率と母板結晶粒径との関係を鋼種別に示す。なお、アイオニング加工後の伸びフランジ率はアイオニング加工後のカップを旋盤でトリミングしたあと、円錐ポンチを押込み、カップ端に割れが発生したときの限界伸びフランジ率を測定した。

高いアイオニング圧下率で鋼種間の比較をした結果は、清浄度の低いリムド鋼の伸びフランジ性が最も劣り、Al コアキルド鋼および Al キルド鋼が優れている。なお、Al キルド鋼の伸びフランジ性は結晶粒径が大きいほど劣る傾向があるので、結晶粒径を小さくすることで改善できると判断される。連铸低炭素 Al キルド鋼の化学成分を調整して結晶粒径を大幅に変えたものについて、

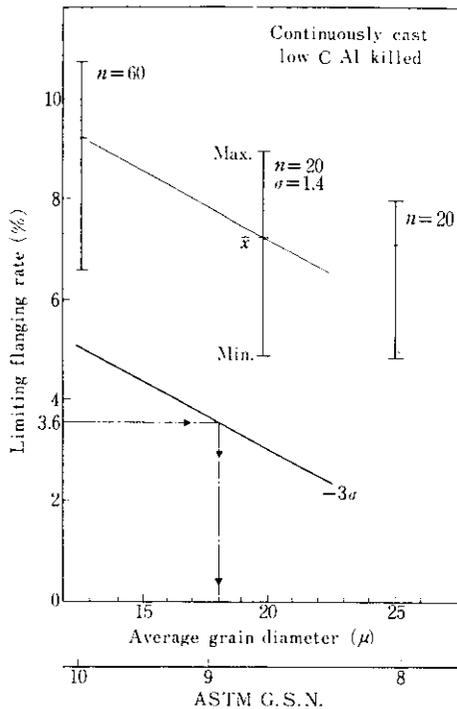


Fig. 4 Influence of grain size on limiting flanging ratio after 53% ironing reduction

アイオニング圧下率53%後の伸びフランジ性と粒径との関係を Fig. 4 に示す。結晶粒径が小さくなるほど伸びフランジ率が高くなる。ピール缶などは、缶の側壁ではアイオニング圧下率が約70%にも達する加工をうけるが、カップ端部は約53%のアイオニング加工をうけたあと、さらに3.6%の伸びフランジ加工をうけるのが普通である。3.6%の伸びフランジ率に耐えるためには、Al キルド鋼の場合、安全のため  $-3\sigma$  のバラツキを見込むと結晶粒径約  $18\mu$  以下 (ASTM G.S.N. 約9.0以上) に細粒化する必要がある。しかし先に述べたように、絞り性やアイオニング性を向上させるためには  $\bar{r}$  値は高いほうがよく、このためには結晶粒径を大きくする必要がある。この相反する要求を調和させる必要があるが、DI 缶製法においては、絞り性やアイオニング性におよぼす  $\bar{r}$  値の影響を小さくする加工法もあり<sup>2)</sup>、たとえば絞り時のクリアランスを小さくしたり、しごき回数を増すと  $\bar{r}$  値は1.3以上あれば特に問題はなくなる。したがって DI 缶用鋼板としては、多少  $\bar{r}$  値を犠牲にしても結晶粒径を細かくし、アイオニング

加工後の伸びフランジ率を高める方が好ましい。以上、DI 製缶時に鋼板に要求される絞り性、アイオニング性およびアイオニング加工後の伸びフランジ性について鋼種別に比較検討したが、総合すると Al キルド鋼が最も適していると判断された。

## 2.2 DI 加工性に及ぼす介在物の影響

DI 缶の加工条件は、前述したように非常に厳しいために、介在物がカップ側壁に存在すればピンホールやアイオニング破断が発生し、一方カップ端部にあれば十分な伸びフランジ率が得られなくなり、フランジ割れが発生することが懸念される。本節では、前述の理由から DI 加工性に優れた Al キルド鋼を選び、介在物の DI 加工性に及ぼす影響を調べ、DI 缶用ぶりき鋼板として要求される内部品質水準を検討した。

まず、Al キルド鋼ぶりき鋼板の欠陥位置と欠陥の大きさを、一般に使われている超音波板波探傷器を用い、Fig. 5 に示す方法で確かめた (超音波の減衰を考慮して、すべて探触子と欠陥距離を350mm にそろえて測定した)。長く連なった介在物 (厚さ2.5~40 $\mu$ 、幅0.6~6.5mm) と、短いが厚い介在物 (厚さ40~100 $\mu$ 、幅0.3~0.5mm) を含む部分を供試材とした。

欠陥部の介在物は、介在物の圧延方向に直角な断面の顕微鏡観察と EPMA 分析で調べた。介在物組成は、 $Al_2O_3$ 、CaO、 $SiO_2$  が主体であった。供試材の介在物を含む欠陥部が、カップ側壁部あるいはカップ端部に位置するように DI 加工したあ

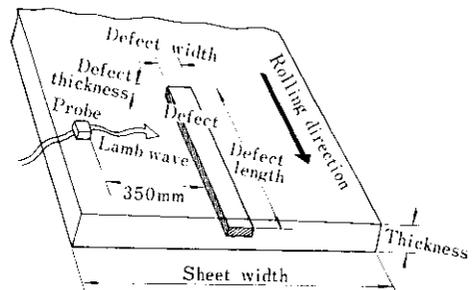
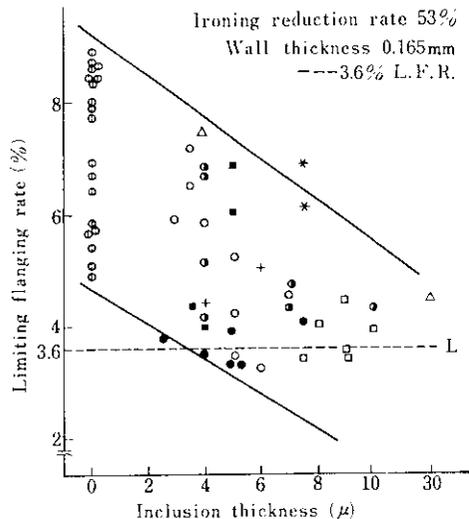


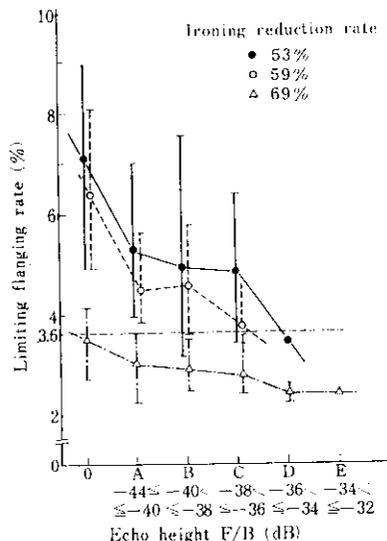
Fig. 5 Ultrasonic flaw detection

**Table 2** Side wall surface defects after ironing

Inclusion type	Ironing reduction ratio	No. of specimens	Outbreak ratio of pinhole defects on the side wall
Long	69	30	0
	59	18	0
	53	47	0
Short but thick	69	20	10



**Fig. 6** Influence of inclusion thickness on limiting flanging rate

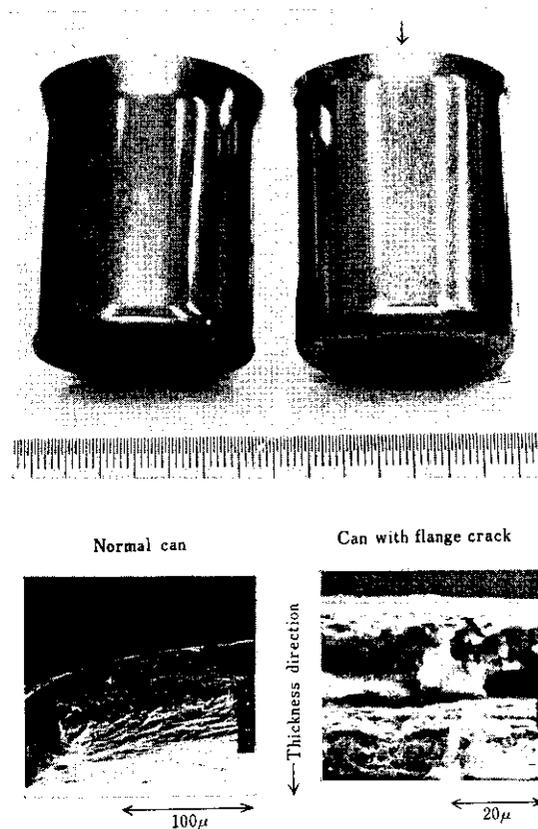


F: Echo height of the inclusion  
B: Echo height of edge portion

**Fig. 7** Influence of inclusion on limiting flanging rate

と、ピンホールなどの欠陥の有無を調べ、さらに伸びフランジ試験を行った。

**Table 2** に DI 加工後の表面観察結果を示す。短い介在物20例のうち2例にピンホールが発生したが、その他のものについては良好であった。**Fig. 6** に介在物厚みと限界伸びフランジ率との関係を示す。また **Fig. 7** に超音波探傷のエコー高さとの関係をアイオニング圧下率の影響もあわせて示す。大型介在物がフランジ端に存在すると、伸びフランジ率は顕著に減少する。また、介在物が厚い場合も同様の傾向がある。なお、**Photo. 1** に正常缶とフランジ割れ缶およびフランジ割れ部の走査型電顕写真の一例を示す。介在物が割れに関係している様子がうかがえる。



**Photo. 1** Appearance of D.I. can model and the micro-structure of the flange crack through scanning electron microscope

今、ビール缶などを加工するための伸びフランジ率の限界値を3.6%以上と考えた場合、介在物は厚み約2.5 $\mu$ 以上、エコー高さ(F/B)-45dB以上のものがカップ端にあると、限界伸びフランジ率が3.6%以下となり、フランジ割れ缶の発生が多くなる。一般にプレス用冷延鋼板としては、介在物は約5 $\mu$ 程度までは許容されることが経験的にわかっているが、DI缶用ぶりき鋼板の内部品質水準は一段と厳しいことがわかる。

また、フランジ割れを起すまで拡張して割れたところを調査すると、フランジ端に介在物が存在するところで割れている場合が全体の85~95%を占めた。すなわち、介在物が存在すると割れやすく高い製缶歩留まりが得られないので、極力介在物を少なくしておくことが肝要である。

### 2.3 DI缶用鋼板の品質設計

前節までの調査結果から、高い製缶歩留まりを得るためのDI缶用ぶりき鋼板の製造に当たっては以下のような配慮が必要である。

- (1)  $r$ 値は、絞り性およびアイオン性性をよくするために1.3以上を狙い、そのためにはC, Siを低くし、かつ清浄性を極力高める。
- (2) 介在物はおもに伸びフランジ性をよくするために、厚みが約2.5 $\mu$ 以上のものを極力少なくする。
- (3) 結晶粒度は、絞り性、アイオン性および伸びフランジ性を総合評価して、ASTM G.S.N. 9.0以上とする。

これらを満たし得る鋼種としては、Table 3に成分を示すような低炭素 Al キルド鋼が適していると判断された。

## 3. 連続工程における介在物減少対策

前章に示すような高度の品質のDI缶用低炭素 Al キルド鋼板を、コスト上有利な連続法で製造

するため幾多の実験を重ねた。本章では、その中心となったDI製缶性に影響が大きい介在物の減少対策を主体にまとめた。

### 3.1 取鍋内溶鋼の清浄化

取鍋内の溶鋼中介在物を極力少くするため、おもに次のような対策を講じた。

- (1) 転炉吹止C規制：0.035~0.050%
- (2) 高温出鍋：1710°C日標
- (3) 取鍋スラグの特殊処理による溶鋼再酸化と復Siの防止
- (4) RH脱ガス処理時間25min以上確保

これらの効果の一例として、RH脱ガス処理後の溶鋼酸素含有量をFig. 8に示す。一般の低炭素 Al キルド鋼の酸素含有量が平均約40ppmに対して、平均約25ppmの低値まで減少した。

### 3.2 取鍋-タンディッシュ間の注入法の改善

取鍋溶鋼もタンディッシュに注入する際、いわゆるオープン注入を行うと、溶鋼の空気酸化による

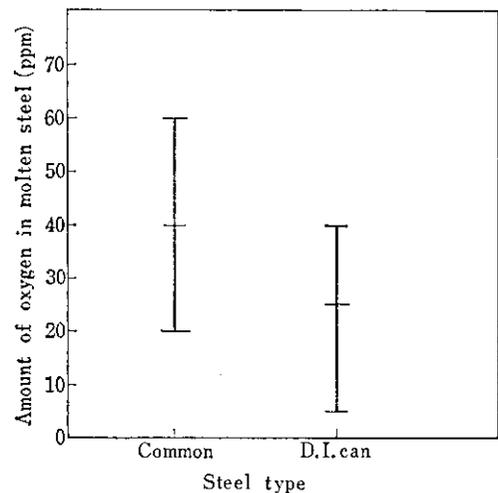


Fig. 8 Amount of oxygen in molten steel after degassing treatment

Table 3 Chemical composition

Component	C	Si	Mn	P	S	Al
wt%	≤0.04	≤0.06	≤0.30	≤0.020	≤0.020	0.02~0.10

大型介在物の増大を招くばかりでなく、タンディッシュ内湯面フラックスの巻込みに基づくフラックス系介在物が増大する<sup>3)</sup>。そこでこれら介在物の巻込み防止策とその効果を確かめる実験を行った。

鑄込法を次のA～C法3通りとし、介在物に対する鑄込要因の影響を調査した。

A法：普通のオープン注入法

B法：取鍋下に注入管のみを取付け、タンディッシュフラックスの巻込みを防ぐ方法

C法：取鍋下に注入管を取付け、同時に注入流をペローズ式シールにて Ar ガスで保護し、空気酸化を防止する方法

介在物調査は、Fig.9に示すようにスラブ上面側の $\frac{1}{4}$ 厚近傍の集積帯より60中×150mm(約4kg)の試片を各スラブ3個ずつ切出し、スライム法により $50\mu$ 以上の大型介在物を抽出、分級し、粒度別に重量測定した。

Fig. 10 に、A、B、C法で鑄込んだ各スラブ内の大型介在物量を比較して示す。大型介在物

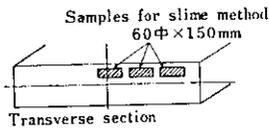


Fig. 9 Sampling positions for inclusion analysis by slime method

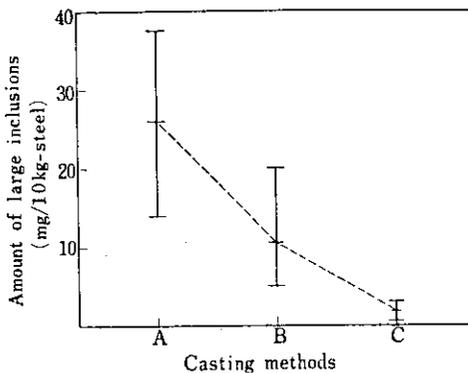


Fig. 10 Relation between casting methods and the amount of the extracted inclusions larger than  $50\mu$

は、普通のオープン注入のA法が最も多く約14～38mg/10kg-鋼であるのに対し、取鍋下に注入管のみを取付けたB法の場合は約7～20mg/10kg-鋼と、A法に比して半減している。フラックスの巻込みと注入時の空気酸化をほぼ完全に防止(雰囲気中の $O_2$  0.5%以下)したC法の場合、大型介在物量は約1～3mg/10kg-鋼と非常に少なく、普通のオープン注入のA法に比較して約 $\frac{1}{10}$ と大幅に低減する。

### 3.3 タンディッシュ構造の改善

本項ではタンディッシュの介在物浮上分離器としての機能を高めるための最適条件を、水モデル実験により推定した結果をまとめた。

タンディッシュの $\frac{1}{4}$ 模型をつくり、取鍋からの水の流りに $0.7\text{mm}\phi \times 0.7\text{mm}$ 長さ、比重0.91のポリプロピレン粒子(溶鋼中で約 $200\sim 300\mu$ の球状介在物に相当する)の一定量( $W_1$ )を混入させ、一定時間内にタンディッシュノズルから流出した粒子の量( $W_0$ )を定量し、 $W_0/W_1$ の比を $\alpha$ とした。 $\alpha$ が小さいほど粒子の浮上分離性がよい。

タンディッシュの構造を通常の堰なし型、オーバーフロー型堰付およびトンネル・オーバーフロー型堰付の3条件とし(Fig. 11 参照)、さらにタンディッシュ内浴深をそれぞれ500, 700, 900mm(いずれも原寸)の3水準とし、介在物の浮上分離性におよぼす堰構造とタンディッシュ内浴深の影響を調べた。

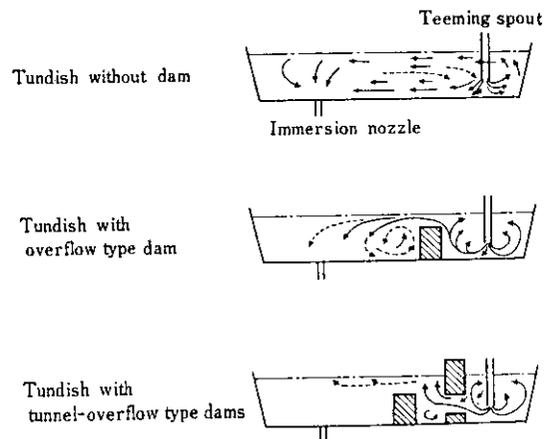


Fig. 11 Tundish structure and flow pattern

**Table 4** Characteristic value  $\beta$  of each tundish

Tundish structure	Bath depth in tundish (mm)		
	500	700	900
Without dams	1	0.61	0.29
With over flow type dam	0.82	0.15	0.08
With tunnel-over-flow type dam	0.67	0.22	0.01

**Fig. 11** に各タンディッシュにおける湯流れを、また **Table 4** に特性値  $\beta$  を示す。特性値  $\beta$  は、堰がないタンディッシュで浴深が最低の場合の  $\alpha$  を  $\alpha_0$  とし、あるタンディッシュのある浴深における  $\alpha$  を  $\alpha_1$  とすれば  $\beta = \alpha_1 / \alpha_0$  で定義される。大型介在物分離能が大きいタンディッシュほど  $\beta$  が小さい。

堰なしのタンディッシュの場合は、流れの乱れは注入管から流出する場所で最も激しく、タンディッシュノズルに近づくとつれて小さくなり、安定した1方向への流れになる。タンディッシュノズル直上では、吸込みにより流れの方向が変わるための乱れがみられる。オーバーフロー型堰の場合は、注入管からの噴流はオーバーフロー堰に衝突したあと堰に沿って上昇し、湯面近くで左右に分岐し、一つは再び注入管の噴流による吸込みで下降し、一つは堰の上部を越えて湯面近傍に沿って進むが、短辺壁に衝突するまでにタンディッシュノズルの吸込口に向って下降しはじめる。トンネル・オーバーフロー型堰の場合は、流れはトンネル部で加速されてオーバーフロー堰に衝突する。衝突後の流れはほとんど湯面に垂直に向い湯面で流れの勢いは弱くなり、その後は湯面下を短辺壁近くに達してからタンディッシュノズルの吸込口に向かって下降する。

特性値  $\beta$  は、堰なしで湯面高さの低いものが一番条件が悪く、トンネル・オーバーフロー型堰を設け、湯面高さを高くしたものが最もすぐれ、介在物の浮上分離機能が100倍に向上する。

### 3.4 浸漬ノズルの改善

円弧型連铸機は、スラブ内の円弧の内側寄りの位置に大型介在物が集積しやすく<sup>6,7)</sup>、この集積を極力軽減することが介在物対策の要点である。

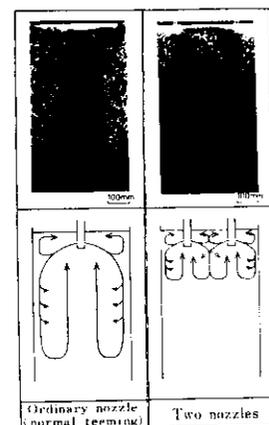
介在物集積は鑄片未凝固部(クレーター)内の溶鋼流動に影響され、特にノズルからの噴流により運ばれる介在物のクレーター内浸入が浅いほど集積が軽減されることが知られている<sup>8,9)</sup>。

本節では、水模型実験によりクレーター内の湯流れを類推し、介在物のクレーター内浸入が浅くなると考えられる2本型浸漬ノズルを実機に使用して鑄込んだスラブ内の大型介在物を調査した結果をまとめた<sup>10)</sup>。

千葉製鉄所の曲率半径10mの円弧型連铸機の1/4模型をつくり、約2mm $\phi$ のポリプロピレン粒子(溶鋼中の約450 $\mu$ のシリケート系介在物に相当する)を使用し、フルード数相似の条件下で実験した。注入条件は逆Y2本型ノズルのほかに、一般に用いられている逆Y1本型ノズルを用いた。

**Fig. 12** に各ノズルを使用した場合のフローパターンを示す。2本ノズル注入は、両ノズルからの噴流が衝突するスラブ幅中央部でやや複雑な流れとなる以外は、1本ノズル注入を2つ合せたときとほぼ同じであり、湯面下、特にノズル周辺の湯動きも活発でデッケル発生防止に効果が期待される。また、循環流の下端、すなわち粒子侵入深さは1本ノズルの約1/2と浅い。

実機で鑄込んだスラブ内の介在物分布の一例として、スラブ全幅における厚さ方向のサルファースポットの分布を**Fig. 13**に示す。サルファースポットの厚さ方向の分布は、1本ノズルの場合、



**Fig. 12** Flow patterns of polypropylene particles in water pool

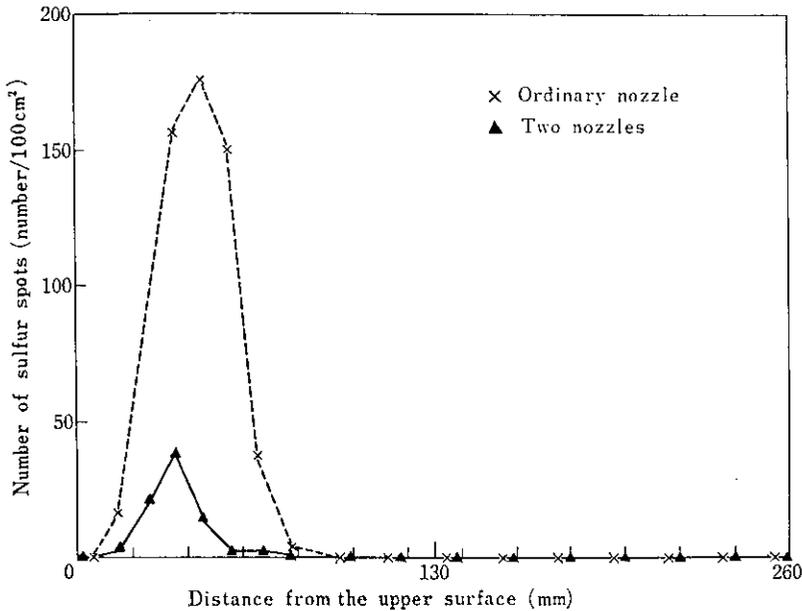


Fig. 13 Influence of nozzle type on the distribution of sulfur spots of slab in thickness direction

表面から10~70mmに集中して発生しており、そのピーク位置は約45mm、ピーク値は約180個/100cm<sup>2</sup>である。これに比較して2本ノズルの場合は、表面から10~50mmに発生し、ピーク位置は約35mm、ピーク値が約40個/100cm<sup>2</sup>と、1本ノズルに比してピーク位置が10mm表面寄りにあり、介在物のクレーター内侵入が浅いと推定される。また集積域がせまくなり、かつピーク値が約 $\frac{1}{4}$ と少くなっており、2本ノズルによる介在物集積の減少効果が著しい。なお、2本ノズルを使用した場合は、介在物のスラブ幅方向の偏在もきわめて少ない。

#### 4. DI 缶用素材製造のための連铸プロセスの確立とその効果

以上の調査結果をもとに、Fig. 14に示すようなDI缶用素材製造のための連铸工程を考案し、千葉製鉄所の曲率半径10mの円弧型連铸機で実際に铸込み、そのスラブ表面品質、熱延コイルの内部品質およびDI法による製缶成績を調査した。铸込条件として、(a)取鍋—タンディッシュ—铸型

間の空気酸化防止法、(b)タンディッシュ構造、(c)浸漬ノズル、(d)溶鋼温度、の4つの要因を適当に組合せて、Table 5に示すように、A、B、C法、計6条件について比較実験した。Fig. 15に铸込みC法の連続铸造模式図を示す。脱酸法およびその他の铸込条件は一定とし、スラブ表面観察、熱延コイルの超音波探傷検査およびDI法による製缶を行い、铸込条件の比較評価をした。特に高い製缶能率が要求されるDI缶用素材としては、品質の優れた大型コイルをつくるのが必須条件である。したがって、内部品質が全般に改善されても、大型介在物が局部的にでも存在すると不適なので、超音波探傷器で全長検査した。

铸込条件別に超音波探傷成績をFig. 16に、スライム抽出介在物量をFig. 17に示す。超音波探傷成績は、取鍋、タンディッシュ間オープン注入法でタンディッシュ湯面を深くすると6.04欠陥数/mから1.99欠陥数/mへ約 $\frac{1}{2}$ に減少する。次にタンディッシュ湯面を深くして取鍋、タンディッシュ間をベローズ式シールにすると1.63欠陥数/mに減少する。また浸漬ノズルをボックス型から逆Y2本型にすることで0.2欠陥数/m以下と約 $\frac{1}{3}$ に大幅に

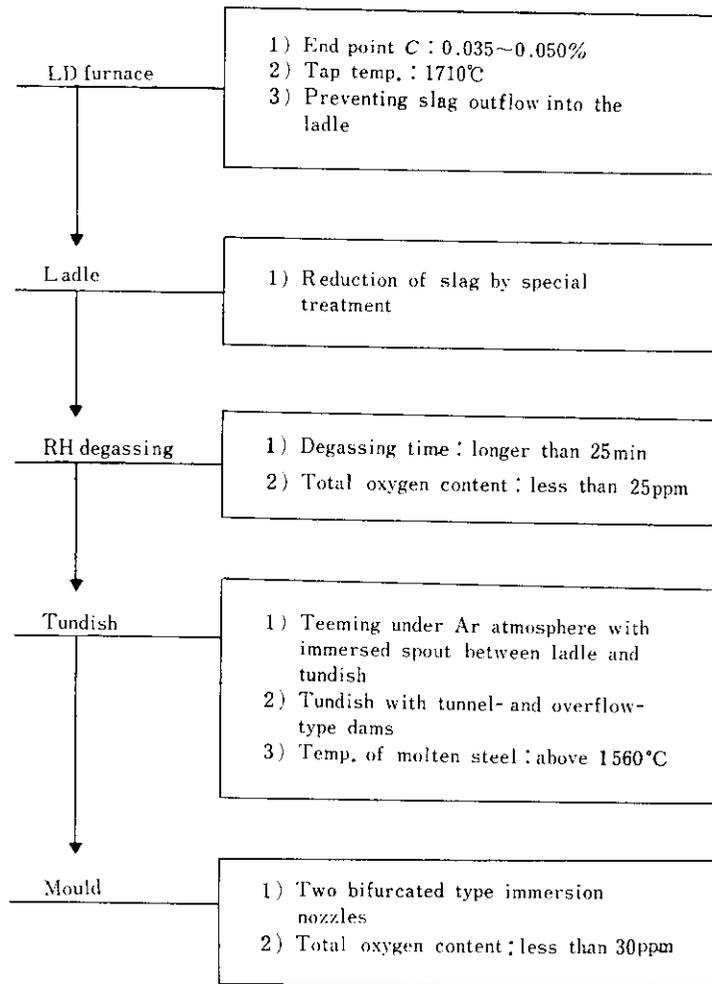


Fig. 14 Standard continuous casting process for the slabs for D.I. can sheet

Table 5 Continuous casting conditions and the results of ultrasonic flaw detection of hot coil

No.	Prevention of air oxidation Ladle—Tundish—Mold	Bath depth index in tundish	Molten steel temperature °C	Immersion nozzle	Number of defects (number/m)
A1	Without any seal	70	1 551	Box type	6.04
A2	"	100	1 551	"	1.99
B	With bellows type seal	100	1 560	"	1.63
C1	"	100	1 552	Two nozzles	0.19
C2	"	100	1 562	"	0.15
C3	"	100	1 567	"	0.04

減少し、さらに高温注入を行うと0.04欠陥数/mにまで減少する。(大気注入+浅型タンディッシュ+ボックス型浸漬ノズル)という初期の铸込条件

と(ベローズ式シール+トンネル・オーバーフロー型堰付深型タンディッシュ+逆Y2本型浸漬ノズル+高温注入)という最良の铸込条件とを比較する

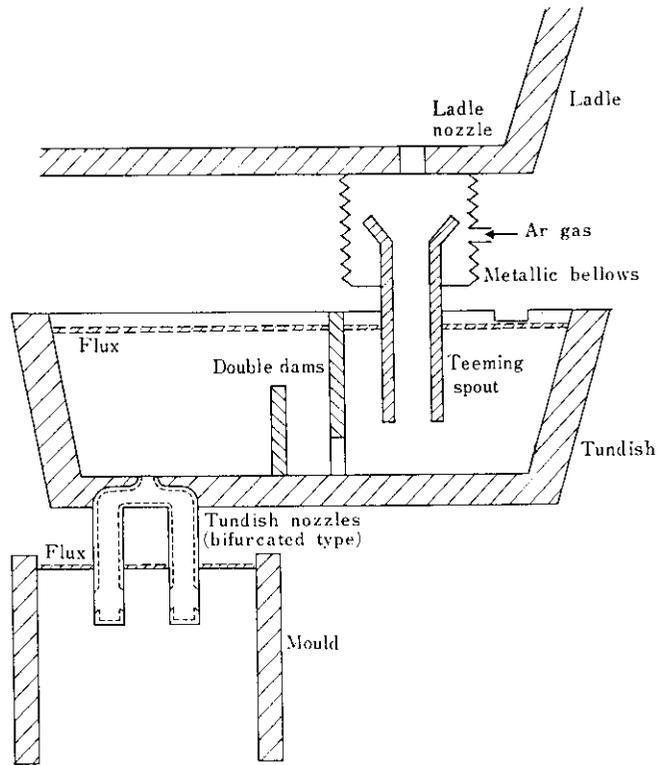


Fig. 15 Continuous casting model

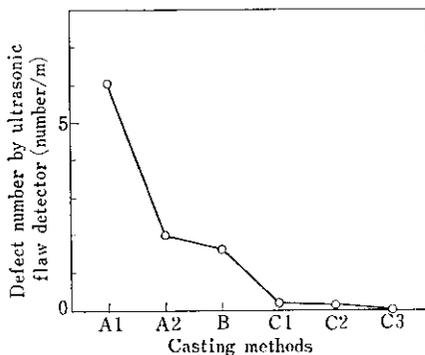


Fig. 16 Relation between casting conditions and defect numbers by ultrasonic flaw detector

と、欠陥数が実に150:1という比率となり、今回適用した一連の介在物対策が、超音波探傷欠陥の原因となるような大型介在物に対してきわめて効果的であることが確認できた。この初期の铸込条件と最良の铸込条件について、スラブの上面側1/4厚近傍のスライム抽出介在物量を比較すると、スラブ幅方向にかかわらず、50~100 $\mu$ の介在物は

約 $1/30 \sim 1/60$ 、100~200 $\mu$ の介在物は約 $1/5 \sim 1/10$ 、200~300 $\mu$ の介在物は約 $1/4 \sim 1/6$ と大幅に低減する。300 $\mu$ 以上の介在物はいずれの場合にも認められない。さらに、铸込条件Cについて高温注入の効果を調べた結果をFig. 18に示す。調査はX線透過法(試料寸法3.5厚 $\times$ 280幅 $\times$ 80長mm)で集積帯の大型介在物を調査した。タンディッシュ溶鋼温度が1552 $^{\circ}$ CであったC1法に比べ、10 $^{\circ}$ C高いC2法は、100 $\mu$ 以上の大型介在物が約30~40%減少し、超音波探傷欠陥と同じ傾向が認められた。

次に铸込条件AおよびCの中から適当なコイルを選び、市販されているビール缶に相当する模擬DI法で製缶し、介在物原因によるフランジ割れなどの不良缶発生率を調べた結果をTable 6に示す。表中にはA1法における不良缶発生率を100とした相対値を示した。大型介在物を大幅に低減できた铸込条件Cから選んだコイルの製缶不良率が、初期に铸込んだAに比べ約 $1/20$ 以下に改善された。

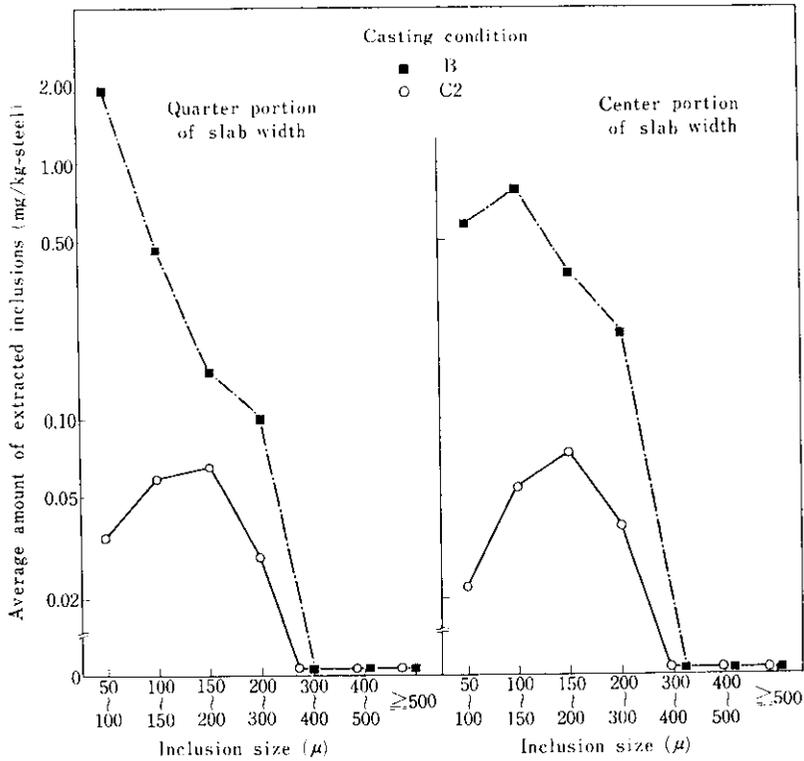


Fig. 17 Relation between casting conditions and the average amount of extracted inclusions

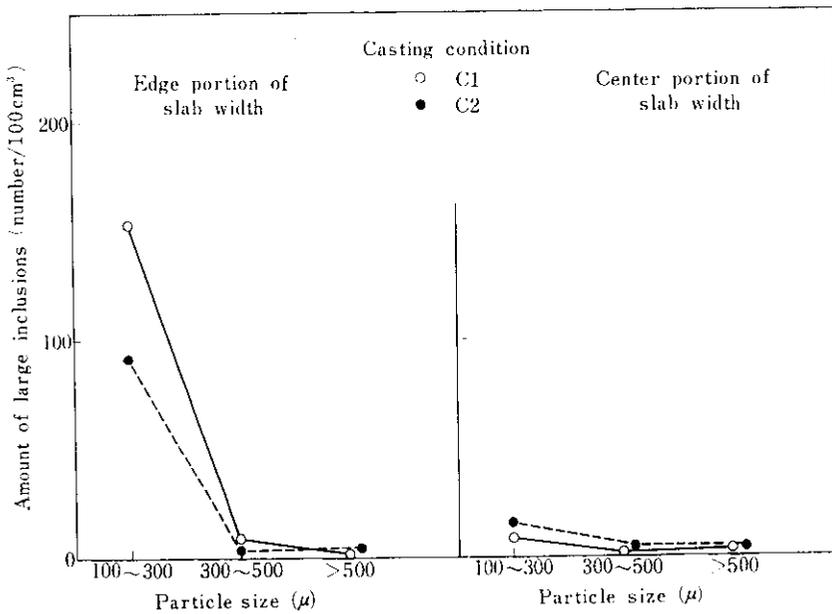
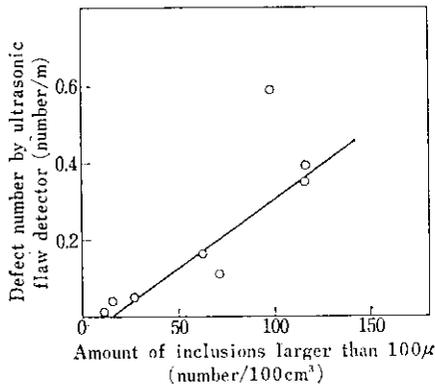


Fig. 18 Relation between casting conditions and the amount of the large inclusions by X-ray penetrating method

今回の一連の DI 試作実験の結果から、大型介在物が多いと製缶時フランジ割れなどが発生しやすくなることがわかったが、割れの原因となるスラブ内介在物の臨界径がどの程度なのかはきわめて興味があり、重要な問題である。今回の調査で

**Table 6** DI process achievement for each casting condition

Casting condition	Index of the unsuccess D.I. can
A1	100
C2	5
C3	1



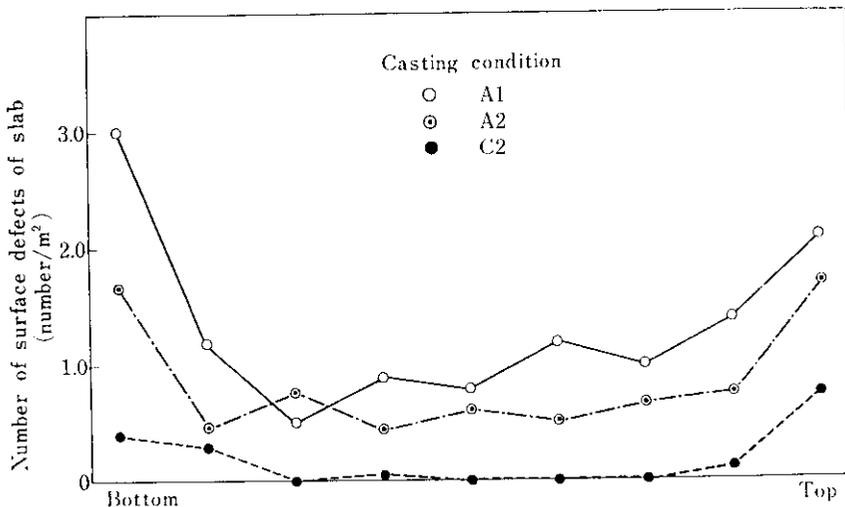
**Fig. 19** Relation between the amount of large inclusions ( $\geq 100\mu$ ) in the slab and the number of defects by ultrasonic flaw detector

超音波探傷の欠陥が 0.2 欠陥数/m 程度 (铸込条件 C) にまで低減できれば、介在物起因のフランジ割れはほとんどなくなることがわかったので、超音波探傷欠陥とスラブ内の介在物との関係を実験スラブ単位ごとに整理した。結果を **Fig. 19** に示す。超音波探傷欠陥はスラブ内の約  $100\mu$  以上の大型介在物量と強い相関を有する。一方、超音波探傷器の検出限界を調べた結果では厚さが約  $2\mu$  の介在物であったので、介在物が圧延比と同じに伸びるとしてスラブ内の大きさに換算すると約  $190\mu$  となる。 $100\mu$  よりはやや大きい、オーダー的にはほぼ一致する。これから、DI 製缶時のフランジ割れの原因となる介在物のスラブ内での限界径は約  $100\mu$  と推測される。

なお、**Fig. 20** に铸込条件別にスラブ表面を約 2.5mm 均一に溶剤手入したあとのスラブ表面品質の代表例を示す。いずれも、溶鋼清浄度が悪いと推定される铸込の始めと終りが悪い。しかし C 法で铸込んだスラブには欠陥は少なく、たとえば一般冷延鋼板用としては、用途によってはスラブ手入を省略することが可能なほど良好である。

### 5. むすび

高品質の DI 併用ぶりき鋼板素材を開発するにあたって種々の研究を重ねた結果、千葉製鉄所の曲率半径 10m の円弧型連铸機で DI 併用低炭素



**Fig. 20** Surface quality of cast slabs

Al キルド鋼を铸込む工程を確立できた。開発途上で得られた知見は次のとおりである。

- (1) DI 加工性に適した鋼種を、絞り性、アイオニング性およびアイオニング加工後の伸びフランジ性で比較した。その結果、良好な清浄性が得られる低炭素 Al キルド鋼で $\bar{r}$ 値1.3以上、結晶粒 ASTM, G.S.N. 9.0 以上のものが最も適していると判断された。
- (2) DI 加工性に優れた低炭素 Al キルド鋼について、DI 加工後の表面品質および伸びフランジ性に及ぼす介在物の影響を調べた。その結果、厚みが約  $2.5\mu$  以上の介在物があるとフランジ割れが発生し、製缶歩留まりが低下することがわかった。
- (3) DI 製缶性に対する影響が大きい大型介在物を減少するため、低炭素 Al キルド鋼を連铸プロセスで製造する試験を繰返した結果、次のことがわかった。
  - (a) 取鍋溶鋼中の介在物を極力少くする対策を講じることにより、酸素含有量を平均約 25ppm

以下の低値まで減少できる。

- (b) タンディッシュへの注入流の空気酸化防止にベローズ式シールを採用し、タンディッシュフラックスの巻込み防止に注入管を使用すると、大型介在物は激減する。
- (c) タンディッシュの介在物浮上分離器としての機能を高めるためには、溶鋼湯面を高くし、トンネル・オーバーフロー型堰を設けるのが効果的である。
- (d) 逆 Y 2 本型浸漬ノズルを使用することにより、铸片内集積帯の介在物を大幅に減少できる。
- (4) 高い製缶歩留まりが要求される DI 缶用素材としては、熱延コイルの超音波探傷成績を 0.2欠陥数/m以下にする必要がある。このためにはスラブ内の  $100\mu$  以上の大型介在物をなるべく少なくする必要がある。
- (5) 上記の介在物水準は、Fig. 14 に示す連铸プロセスにより実現可能である。

#### 参 考 文 献

- 1) 東洋鋼板(株)：ぶりきとティンフリースチール、(1974)、274、[アグネ]
- 2) 阿部ほか：川崎製鉄技報、8 (1976)、1、42
- 3) R.L. Whitely：Trans. ASM、52 (1960)、154
- 4) 阿部、中川：川崎製鉄技報、5 (1973) 2、210
- 5) 熊井ほか：鉄と鋼、60 (1974) 7、926
- 6) 新日鉄(広畑)：第49回製鋼部会資料、鋼49—22、(1971)
- 7) 川鉄(枝研、千葉)：第57回製鋼部会資料、鋼57—12、(1974)
- 8) 川上ほか：鉄と鋼、59 (1973)、S 387
- 9) 大井ほか：学振資料19委 9723、(1974)
- 10) 垣生ほか：鉄と鋼、(1974)、10、A 99