

## (104) セミキルド帯鋼の線きずについて

富士製鉄, 室蘭製鉄所

森永 孝三・工博 佐藤 進  
広谷 宏・堀口 浩  
○伊藤 幸良On Seamy Crack at the Welded Part  
of Semi-Killed Steel Hoop.Kōzō MORINAGA, Dr. Susumu SATŌ,  
Hiroshi HIROTANI, Hiroshi HORIGUCHI  
and Yukiyo ITOH.

## 1. 結 言

従来, 電縫管用としてリムド鋼のシングルフープが使用され, リム部を溶接していたが, 鋼塊頭部の偏析による機械的性質の不均一性の改善および製造コストの低減のためにセミキルド鋼に切り換え, 熱延コイルをスリットした帯鋼が使用されるようになった。しかし, セミキルド帯鋼の製管工程では, 清浄なリム部が溶接されるリムド鋼シングルフープと異なり, 鋼塊コア部が溶接されることになり各種の溶接部欠陥が現われる。

セミキルド鋼はキルド鋼とリムド鋼の中間の脱酸度で造塊されるが, 脱酸度が弱過ぎると鋼塊表面近くに多数の気泡が生成し成品の表面欠陥となり, 逆に脱酸度が強過ぎるとキルド鋼のような収縮孔が発生し成品歩留りを低下させる。したがって, セミキルド鋼の製造においては脱酸度の管理が最も重要な問題である。

セミキルド鋼の脱酸法としては Si 脱酸と Al 脱酸があるが, 脱酸度の管理の容易さのため Si 脱酸が採用されることが多い。室蘭製鉄所においても電縫管用セミキルド鋼は Si 脱酸によつて製造されていた。

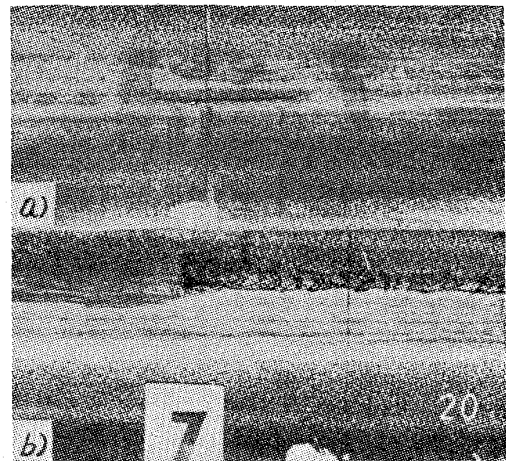
しかし, Si 脱酸においては Si の脱酸力が比較的に弱いため Si 添加直後の一次脱酸のみでは脱酸反応は十分進行せず, 鋳型内での溶鋼の温度降下および凝固にともなつて二次脱酸が起こり, かなりの量のシリケートが形成される<sup>2)</sup>。この二次脱酸反応の生成物の大部分は, 鋼中に残留して非金属介在物となる。

セミキルド帯鋼の製管時に溶接部に発生する欠陥の多くは, この Si の二次脱酸によるシリケートが原因となっている。以下セミキルド帯鋼の溶接部欠陥の調査結果および脱酸法による欠陥防止の検討結果について述べる。

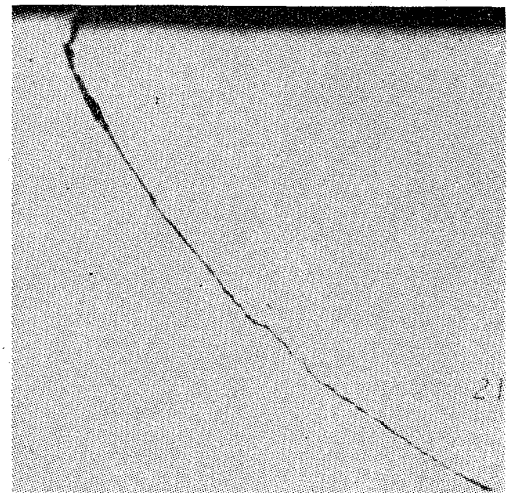
## 2. 溶接部欠陥の発生状況および原因

セミキルド帯鋼の製管材溶接部の欠陥としては線きずと呼ばれる溶接部に沿つて長さ 10~60mm にわたりヘアクラック状に発生する欠陥が多い。この線きずには Photo. 1 (a) に示すような肉眼観察によつて容易に検出されるものと, 磁気探傷によつてはじめて検出できる軽微なものがあるが, 鋼管の材質上問題となるのはその後の偏平試験あるいは押しひろげ試験によつて不良品を発生させる肉眼で認められる線きずである。溶接部欠陥には線きず以外に Photo. 1 (b) に示すような鋼板の二枚板状の欠陥があるが, この欠陥は鋼塊の収縮孔に起因するもので造塊時の脱酸度が過度にならないように管理している限りほとんど発生しない。

線きずの発生原因を調べるために肉眼検査によつて線



a) Seamy crack b) Lamination

Photo. 1. Defect originated at the welded part of electroseamed tube.  $\times 1(4/5)$ Photo. 2. Transverse section of tube at seamy crack.  $\times 100(4/5)$ 

きずの検出された鋼管を入手し, きず部でC方向に切断し顕微鏡観察をおこなつた。線きずの先端にはかならず Photo. 2 に示すような巾  $500\mu$  以上の大型 A 系介在物が存在している。この大型介在物の位置すなわち線きずの基点は一般に鋼板表面近くにあるが, Photo. 2 の例のように板厚中心近くの介在物を基点として線きずが発生することも多い。

線きずの原因となるこれら大型 A 系介在物は顕微鏡試験によつて Mn-シリケートと推定され, きず部の分光分析によつても Mn および Si が濃化しているのが認められた。線きずが発生している時期のセミキルド鋼塊について主としてスライム法によつて大型介在物を調査し, すでにその結果は報告してあるが<sup>3)</sup>, この線きずの原因となつている大型 A 系介在物は Si の二次脱酸によつて生成した Mn-シリケートである。

したがって, 線きずを防止するには 1) 鋼板の圧下率をあげて A 系介在物を微細に分散させるか, 2) 脱酸法を変えて A 系介在物を減らす必要がある。1) の対策としては薄物鋼板を製造することも考えられるが, 成品の要求強度から鋼板厚さには制限があるため鋼塊を大型化して

Table 1. Influence of Al quantity in mold on the large inclusions and seamy crack of tube.

Ingot number	Al addition in mold (g/t)	Number of inclusions longer than 300 $\mu$ in 60 fields			Number of tubes which have seamy crack
		Top	Middle	Bottom	
I	0	59	51	25	65
II	20	21	36	24	76
III	50	38	22	29	0
IV	100	15	4	12	2

圧下率をあげる方向を採用し、良い材質の要求されるセミキルド鋼は大型鋼塊に切り換えた、しかし、この対策では線きずを根本的に防ぐことはできないので、さらに積極的な対策として2)の方法を検討した。

### 3. A系介在物の減少による線きず防止対策

#### 3.1 予備試験

セミキルド帯鋼の線きずの原因は Mn-シリケートを主体とする大型A系介在物で、しかもこれら介在物の大部分は鋳型内での Si の二次脱酸によつて生成するものであるから、これを浮上分離させることは困難である。むしろ Al 使用量を増して鋳型に注入される溶鋼中の遊離酸素の絶対量を減少させ、二次脱酸による Mn-シリケートの生成をおさえるべきである。

電縫管用セミキルド鋼は従来 Si 脱酸によつて製造され、Al は鋼塊頭部調整用として少量鋳型で使用されていたにすぎない。A系介在物の減少対策の予備試験として、はじめに Si 主脱酸で取鍋 Al 添加量だけを 0, 160, 360 g/t の3段階に変えて板厚 4.6~6.5mm のセミキルド帯鋼を製造し、A系介在物の量を比べたが、取鍋 Al 使用量の増加によつて介在物量が著しく低下した。製管工場における線きずの発生率もこのようなアクションによつて明らかに低下した。つぎに Si 主脱酸で鋳型 Al 使用量だけを変えて造塊した4本の鋼塊から帯鋼をつくり、鋼板L方向での大型A系介在物の量および製管工場での線きずの発生状況を比較した。結果は Table 1 に示すとおりで鋳型 Al 使用量の増加により大型A系介在物量および線きずの発生量が減少している。

#### 3.2 Al 主脱酸試験

予備試験によると Si 主脱酸で取鍋または鋳型での Al 使用量を増すと A系介在物量が減少し、製管時の線きず発生率も低下することが明らかになったので、従来の Si 主脱酸から Al 主脱酸すなわち炉内 Si-Mn を 3,500g/t におさえ、取鍋 Si-Mn を中止し Al を 150~200g/t 使用し、さらに鋳型で鋼塊頭部がフラットになるように 200g/t 以下の Al を投入する脱酸法に切り換えた。この Al 主脱酸によつて製造したセミキルド帯鋼を製管工場に送り、製管時の線きず発生状況を調べた結果、線きずは著しく改善された。

しかし、この Al 主脱酸では脱酸度が過度になる傾向があり、鋼塊収縮孔が生成するため Photo. 1 (b) に示したような2枚板状欠陥が発生した。そこで2枚板対策として Al 主脱酸における Al 使用量を減少し脱酸度を弱目におさえたところ、再び Si の2次脱酸が進みシリケートが生成して線きずが発生した。もちろん当初の Si 主脱酸に比べて Si 使用量が少ないので線きずの発生率

Table 2. Seamy crack of tubes which were produced by mainly Al or only Al deoxidation.

Kind of deoxidation	Degree of origination of seamy crack*)			
	Much	Med.	Less	None
Mainly Al	3	6	43	19
Only Al	0	0	9	25

Note\*)

Much: More than 30 of tubes produced from these hoops have seamy crack.

Med: 10~30 of tubes produced from these hoops have seamy crack.

Less: Less than 10 of tubes produced from these hoops have seamy crack.

None: None of tubes produced from these hoops have seamy crack.

も低い。

#### 3.3 Al 単独脱酸試験

Al 主脱酸によつて線きずと2枚板状欠陥の両者を防止するのは困難である。すなわち、2枚板状欠陥を防ぐために脱酸度を低下すると Si 2次脱酸がおこりシリケートが生成して線きずが発生し、脱酸度を強化すると線きずが防げるが鋼塊収縮孔によつて2枚板が発生する。

そこで脱酸度を低目にしてもシリケートの生成がないようにするため、炉内および取鍋での Si 使用を完全に中止した Al 単独脱酸法を採用して試験を行なった。すなわち、前節で述べた Al 主脱酸と Al 単独脱酸によつて製造された鋼塊について、スラブおよび鋼板の状態で大 A系介在物量を比べ、帯鋼の製管時の線きず発生状況を比較した。スラブおよび鋼板中の大型A系介在物量は Al 単独脱酸によつて大巾に減少している。帯鋼の線きず発生状況は Table 2 のとおりで Al 単独脱酸によつて線きずは著しく低下している。

この試験結果により Al 単独脱酸で線きずが防止されることが明らかになったので、電縫管用セミキルド鋼の製造はこの Al 単独脱酸に切り換え、製管工場においても好成績をおさめている。

## 4. 結 言

電縫管用セミキルド帯鋼は従来 Si 主脱酸によつて製造されていたが、帯鋼の製管時に溶接部に線きずと呼ばれる欠陥が多発した。この線きずは Si の2次脱鋼反応によつて生成する Mn-シリケートを主体とする大型 A系介在物が原因となつている。

線きず防止対策として脱酸法をいろいろ検討し、Al 単

独脱酸によつて好成绩をおさめた。

文 献

- 1) 加藤: セミキルド鋼塊に関する研究(学位論文)
- 2) 中川: 鋼の造塊過程における酸化物系介在物の成  
因に関する研究(学位論文)
- 3) 森永, 大庭, 伊藤: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 518

### (105) ステンレス鋼造塊時の空気酸化による非金属介在物の形態挙動について

(ステンレス冷延鋼板の非金属介在物欠陥に関する研究—I)

日新製鋼, 周南製鋼所

辻 敬之助・○衣笠 雅普  
和田 安正・山本 大作

#### On Behavior of Non-metallic Inclusions by Air Oxidation during Teeming of Stainless Steels.

(Study of defects by non-metallic inclusions in stainless cold sheet—I)

Keinosuke TSUJI, Masayuki KINUGASA,  
Yasumasa WADA and Daisaku YAMAMOTO.

#### 1. 緒 言

ステンレス冷延鋼板を製造する場合, 成品の表面疵が常に問題となる。それらの疵の中には製造工程で生じた機械的なものも含まれているが, 非金属介在物に起因する材質的な疵によることも多い<sup>1)2)</sup>。また, その非金属介在物の組成, 形態はステンレス鋼を熱間加工する場合にも重要な要因とされている<sup>3)4)</sup>。非金属介在物の生成は投入される合金元素により影響されるが, 代表的フェライト系ステンレス鋼である SUS-24 において, 問題となる元素は Cr, Si, Mn, (Al)と考えられる。

実際の冷延製品における線状の表面疵を観察した結果, それらは Cr 系酸化物介在物およびシリケート系介在物であることが判明したので, この種の疵を防止する対策の一環として上記の 4 元素に注目し, それらの空気酸化による酸化物の形成およびそれらの酸化物による疵の防止策について検討を行なった。

溶鋼の空気酸化に関しては, すでに多くの研究者により報告されている<sup>5)~10)</sup>。ところで, ステンレス鋼については相山ら<sup>10)</sup>の報告があり, また溶鋼組成と空気酸化によつて生成する非金属介在物との関係については前川ら<sup>5)</sup>の報告もあるが, 前者は組成との関連については行なわれておらず, 後者は 0.9% までの低 Cr 合金についてである。

本報告はステンレス冷延製品中に時折見出される Cr 系酸化物およびシリケート系介在物の生成原因を確認することを目的として, 溶鋼組成と空気酸化による介在物の形態の変化について行なった実験結果の一部である。

#### 2. 実験方法

試料の溶製は水銀間隙式塩基性高周波炉を使用し,

SUS-24 に相当する成分を大気中で溶製した。SUS-24 組成のうち溶鋼状態で空気酸化をうける場合, 優先的に酸化されると考えられる Si, Mn, Cr の 3 元素について, 実用成分範囲内でそれぞれ, 0.2~0.8%, 0.4~1.2%, 16~19% と変化させて溶製し, 故意に空気酸化を与え, Cr 系酸化物の生成割合を調査した。ここで, C および Al の方が空気酸化に対する寄与率は大きいと考えられる<sup>11)</sup>が, C はステンレス鋼の場合, 通常 0.08% 以下であり, ほぼ一定しているので, 特に考慮せず, ただ溶製に際し 0.03~0.04% C となるように留意するに止めた。また, Al については, 別途に実験を行ない, Mn, Si, Al 量をそれぞれ 0.3~3.0%, 0.3~1.5%, 0~0.1% に変化させて溶製し, 故意に空気酸化を与え, 生成する介在物とこれらの三元素との関係を検討した。

造塊は注入中に故意に空気酸化を与えるために, 溶鋼を定盤から 800mm の高さから流出孔内径 13mm φ のシャモット製ロートを通して注入した。注入時間は約 12 sec であつた。注入前の測温は Pt, Rh 熱電対で行な

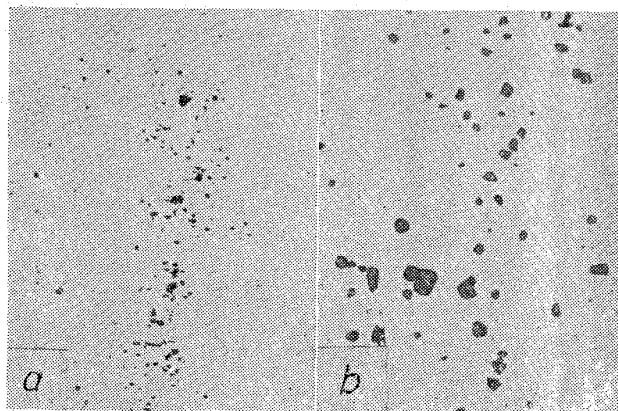


Photo. 1. A seam defect by Cr-oxides.

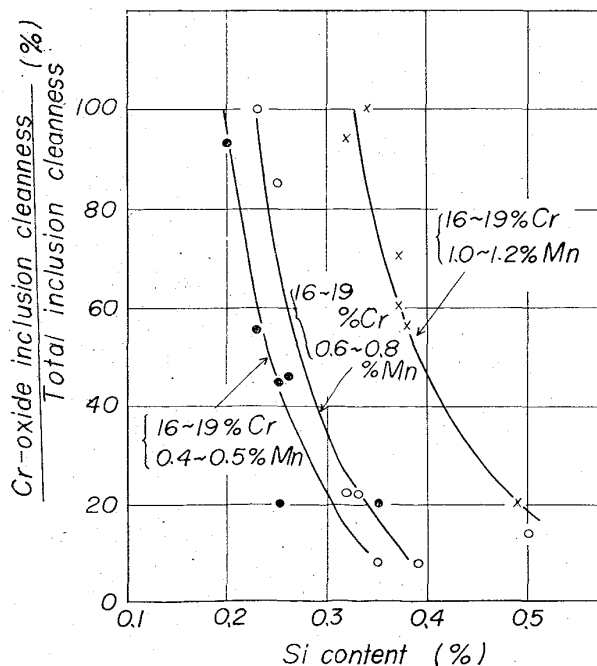


Fig. 1. Effect of Si and Mn on production Cr-oxides.