

水島製鉄所における連続铸造製 低炭素 Al キルド冷延鋼板の品質について

Quality of Continuously Cast Cold-rolled Al-killed Low
Carbon Steel Sheet of Mizushima Works

岩 崎 利 雄*

Toshio Iwasaki

高 谷 元 啓**

Motohiro Takaya

鈴 木 康 治***

Koji Suzuki

干 野 達 吉****

Tatsukiti Chino

高 田 庸*****

Isao Takada

Synopsis :

In the production of continuously cast cold-rolled Al-killed low carbon steel sheet, the process covering from steel-making to slab casting is so vital that it almost determines the quality of the finished products. Based on the analytical study of solidification process characteristic to continuous casting, Mizushima Works has developed new techniques for melting, teeming and slab solidifying to produce high-quality slab, and has also made some study on the annealing condition of cold-rolled coils. The finished products thus made showed the following advanced features as compared with those produced by the conventional ingot-casting method :

- (1) Better drawability owing to the stronger intensity of (111) diffraction peak parallel to cold sheet surface.
- (2) Much cleaner steel owing to the smaller segregation and finer inclusions.
- (3) Better surface quality owing to the smaller size of surface defects.

1. 緒 言

水島製鉄所における広幅スラブ連铸機は、1971年1月稼動以来、きわめて順調な操業を続けている。その間、種々の新しい技術が開発され、铸造鋼種も高張力鋼から深絞り用冷延鋼板にまで拡大

された結果、生産量も著しく増大した。

この連铸機の設備と操業については、本誌¹⁾においてすでに報告されている。ここでは、特に、連続铸造によって製造された深絞り用低炭素 Al キルド冷延鋼板の品質について報告する。

一般に、冷延鋼板の品質については、表面、材質および内部性状いずれについても、非常に厳し

* 水島製鉄所管理部薄板管理課掛長

*** 水島製鉄所製鋼部製鋼管理課

***** 技術研究所水島研究室主任研究員(現鋼材研究室主任研究員)

** 水島製鉄所管理部薄板管理課

**** 水島製鉄所製鋼部第1製鋼課

い要求がなされている。特に、低炭素 Al キルド冷延鋼板は、その用途上、自動車外板材として、あるいは深絞り用鋼板として最高の品質が望まれる。これらの厳しい品質要求を満たすための努力は、従来、鋼塊材を中心に積み重ねられ、その結果、今日のすぐれた冷延鋼板の製造法が確立された。そこで得た結論は、最高の品質が要求される冷延鋼板を製造する場合には、「溶鋼からスラブまでの製造工程で、その品質の大部分が決定する」ということであった。したがって、連铸製冷延鋼板の製造にあたっての最大の課題は、鋼塊法で採用されている種々の対策を連铸法に応用することによって、「いかにして良質なスラブをつくるか」ということにあった。

一方、連铸法と鋼塊法の根本的な違いは、その製造工程から「溶鋼の凝固過程」にあるといえる。すなわち、連铸機では凝固速度が大きいいため、溶鋼中の介在物が微細化し、分散しているという利点があるが、反面、介在物の分布は表面より内部へと漸次増加すると考えられ、その後の圧延によって鋼板表面に露出するため、製品で表面欠陥が多発する恐れがある。

このような鋼塊材との違いをいかにコントロールして良好な内部性状と表面を得るか、また、材質面に関しては、最適 Al および N の組成コントロールをいかに行なうか、さらに材質におよぼす連铸固有の特性があるかどうか、ということが、連铸製 Al キルド冷延鋼板製造にあたっての具体的な課題となった。

これらの問題解決のため、鋼の溶製方法、連铸鑄込み条件、スラブ凝固条件、スラブ表面手入れ方法および加工性に対する材料特性などについて、数々の調査実験と改善がくりかえされた。

以上のことから、冷延鋼板用低炭素 Al キルド鋼連铸スラブ製造の基本条件として、次の結論が得られた。

- (1) 表面および内部品質について
 - (i) 溶鋼中のアルミナ系介在物の絶対量を減少させる。
 - (ii) アルミナ系介在物をスラブ表面直下に凝集させない。
- (2) 材質について

鑄込みスラブ全長にわたり、酸可溶 Al を深絞り最適範囲内におさめる。

これらの点を考慮して製造された冷延鋼板の品質について以下に報告する。

2. 溶製方法について

連铸用低炭素 Al キルド鋼の溶製方法として、転炉出鋼後、連铸の前処理に R H 脱ガスを行なっている。この処理の意義は次の 3 点にある。

- (1) 溶鋼を清浄にして良好な冷延鋼板表面を得る。
- (2) 鑄込み時、タンディッシュへの Al 添加をさけるため、取鍋で Al を要求範囲内に十分コントロールしておく。
- (3) 溶鋼の温度をコントロールする。

このようにして溶製された溶鋼は、当所の 2 スtrand CONCAST 彎曲型スラブ連铸機を用いて、所定寸法のスラブに鑄造される。この際、冷延鋼板用として、操業上、次の 5 項目が特に考慮されている。

- (1) Al を所定の組成範囲内に適中させる。
- (2) 溶鋼の鑄込み温度を所定範囲内にコントロールする。
- (3) 耐火物の選択および鑄込み時の空気しゃ断により溶鋼の酸化防止を行なう。
- (4) 特殊タンディッシュを用いて、ノロおよび介在物のモールド内への流入を防止する。
- (5) 溶鋼中のアルミナ系介在物は、すみやかに湯面へ浮上させ、その絶対量を減少させるとともに、スラブ表面直下への凝集を防止する。

鑄込み中のモールド内での Al および O の変化を図 1 に示す。鑄込み初期および末期で、酸可溶 Al の低下と不溶 Al および O の増加が見られる。

3. スラブ性状について

3.1 スラブチェック Al 分布

鑄造スラブについて、長手方向の Al 分布を図 2 に示す。図 1 と同様、鑄込みの初期と末期で可溶

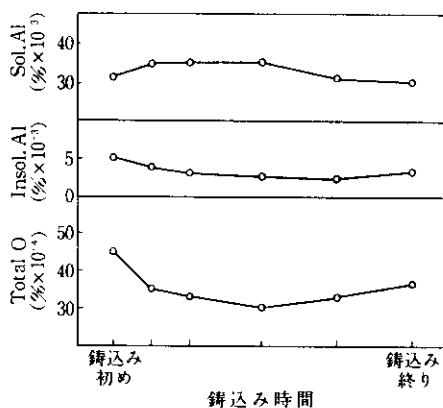


図1 モールド内溶鋼成分変化

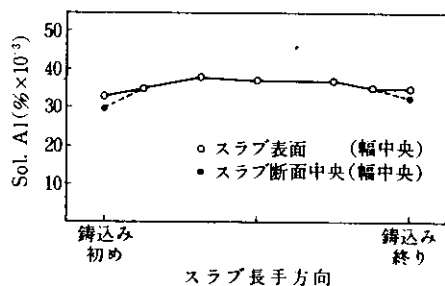


図2 スラブチェック Al 分布

Al の低下が見られる。初期の Al 低下は、タンディッシュ内での溶鋼の空気酸化によるものである。また末期の Al 低下は、鋳込みが長時間にわたるため、取鍋内で溶鋼中の Al が酸化されてスラグへ移行したためである。

当初はこの Al 低下量が大きく、タンディッシュでの Al 補充を行なったこともあるが、かえってアルミナ系介在物を増加させることになった。そこで溶製方法の注意項目 (3) など Al のコントロール方法を採用した結果、図2に見られる

ように、Al 低下量は問題にならない程度に小さくなった。したがって、現在当所においては、鋳込み中にタンディッシュへの Al 添加は全く行っていない。

3.2 スラブ内部性状

冷延鋼板用として特に問題になるアルミナ系介在物については、その減少対策として、溶製方法で述べたように、次の4点が考慮されており、非常に良い結果が得られている。

- (1) RH脱ガス処理により、酸化物系介在物の絶対量を減少させる。
- (2) タンディッシュへの注入時、溶鋼の空気酸化を防止する。
- (3) タンディッシュ内では、溶鋼の流出方向を変えることにより、溶鋼の滞留時間を長くし、この間に介在物をすみやかに湯面に浮上させ、モールド内への流入を防止する。
- (4) モールド内への鋳込み過程では、溶鋼の流出方向および流出速度をコントロールすることにより、介在物をすみやかに浮上させるとともに、スラブ表面直下での介在物の凝集を防止する。

上記の第 (4) 項について対策前後の内部性状を図3に示す。

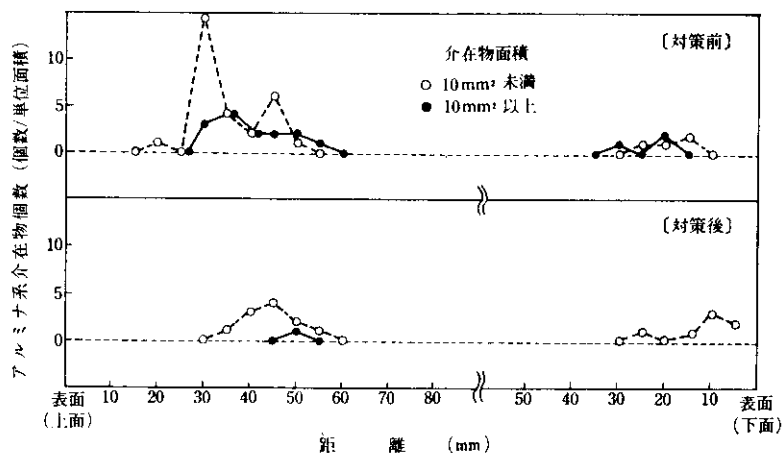


図3 連铸スラブ内部のアルミナ系介在物分布

3.3 スラブ表面性状

低炭素 Al キルド鋼連铸スラブの表面欠陥の特徴としては、たて割れ、コーナー割れなどのスラブ表面割れが非常に少ないことである。これは鋼中 C, Mn の低いことによるもので、このことから高速度铸込みが可能である。反面、ノロカミなどアルミナ系介在物からなるスラブ欠陥が発生しやすいので、铸込み時の温度管理、铸込み速度およびモールドパウダーの品質管理などに十分な注意が必要である。

図4に铸込み長手方向のスラブ表面欠陥発生状況を示す。スラブの表面手入れ方法としては、ス

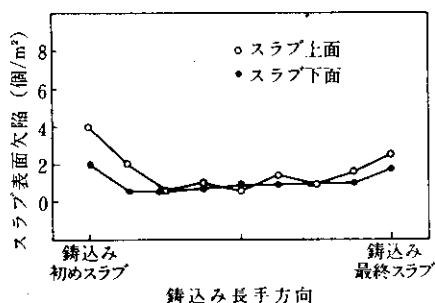


図4 スラブ表面欠陥発生状況

ラブ表面全体を一様に0.5~1.0mmの深さまでスカーフィングし、あとに残った欠陥を除去する方法（全面手入れ）と铸肌のまま目視で発見できる欠陥すなわち表面割れや大型ノロカミをハンドスカーフィングによって除去する方法（部分手入れ）とがある。

冷延鋼板用としては、製品表面に対する要求が非常に厳しいことから、大部分は全面手入れを実施している。なお、全面手入れと部分手入れによる手入れ減りの差は2%程度である。

4. 冷延鋼板の品質について

4.1 表面性状

低炭素 Al キルド冷延鋼板の表面欠陥のうち、製鋼要因のものとして「へげ疵」と「スリバー疵」がある。「へげ疵」はスラブの表面割れや大

型介在物に起因し、「スリバー疵」は溶鋼の凝固時にスラブ表面直下に捕捉されたアルミナ系介在物に起因する。これらの介在物はその後の圧延により線状もしくは帯状に伸延され、鋼板の表面に露出して製品の表面欠陥になる。またアルミナ系介在物は地鉄にくらべて非常に硬いため、スリバー疵のある冷延鋼板を軽加工すると局部歪を生じることがある。

連铸材のへげ疵およびスリバー疵の特徴は鋼塊材のそれらにくらべて、その長さおよび幅ともに小さいことである。この理由として次の2点が考えられる。

- (1) 連铸時の凝固速度が大きいので、介在物の成長および凝集が抑えられる。
- (2) 連铸スラブから冷延までの圧延比が小さいため、介在物が長く伸ばされない。

図5に铸込み長手方向について製品でのスリバー疵発生状況を示す。铸込み初期および末期でのスリバー疵の発生率が高くなっている。これはスラブの表面欠陥発生状況とも対応している。

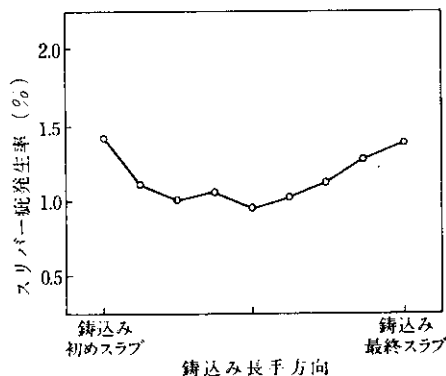


図5 冷延鋼板のスリバー疵発生状況

製品全体としてスリバー疵の発生率を比較すると表1のようになる。スラブの表面手入れ方法による製品表面欠陥発生率を比較すると、部分手入れの方が多くなっている。この差はスリバー疵よりむしろへげ疵によるもので、部分手入れでは铸肌のままでスラブ表面観察を行なうため、除去しきれない大型介在物が残っていることを示している。したがって、全面手入れ法の意義は、スラブ

表 1 冷延鋼板表面欠陥発生率の比較

製造法	位置	スラブ表面 手入れ方法	スリパー疵 発生率(%)	ヘゲ疵 発生率(%)
連 鋳	鋳込み初め	全面手入れ	1.4	1.1
	鋳込み中期	全面手入れ	1.2	0.9
		部分手入れ	1.3	1.2
	鋳込み終り	全面手入れ	1.5	1.1
鋼 塊	全 長	全面手入れ	1.2	1.0

表面欠陥を発見しやすくすることにあるといえる。

一方、連鋳材の板幅方向すなわちスラブ幅方向でのスリパー疵発生状況を見ると、明らかに幅中央部に集中発生している。これは溶鋼の凝固時、スラブ表面直下に捕捉されるアルミナ系介在物がモールド長片側の幅中央部で特に多いことを示している。その理由としては、溶鋼がタンディッシュノズルから流出する際、モールドの長片側と短片側への流れの径路に差があることによるものである。このことは各種モデル実験によって確かめられている。したがって、モールド寸法によっても

製品表面欠陥の発生率に若干差がある。

4.2 内部性状

(二枚板および大型介在物)

連鋳製冷延鋼板の超音波探傷異常部の調査により、その実体は主として、鋳込み中にモールドパウダー、ノロおよび溶鋼の混合物がスラブ内に流れ込んでできたものであった。

そこで、前述したように、特殊タンディッシュを用いて、介在物やノロがモールド内に流入することを防止した結果、超音波探傷異常の発生は非常に少なくなった。

4.3 材質について

4.3.1 成分

深絞り用冷延鋼板の材質に特に重要な役割をもつ成分、すなわち C, Al, O および N について、シート分析値を図 6 に示す。鋳込み初めから終りまでの成分変動すなわち成分偏析は小さい。したがって、これより切出されるスラブを用いて製造される製品コイル内の成分変動はさらに小さくな

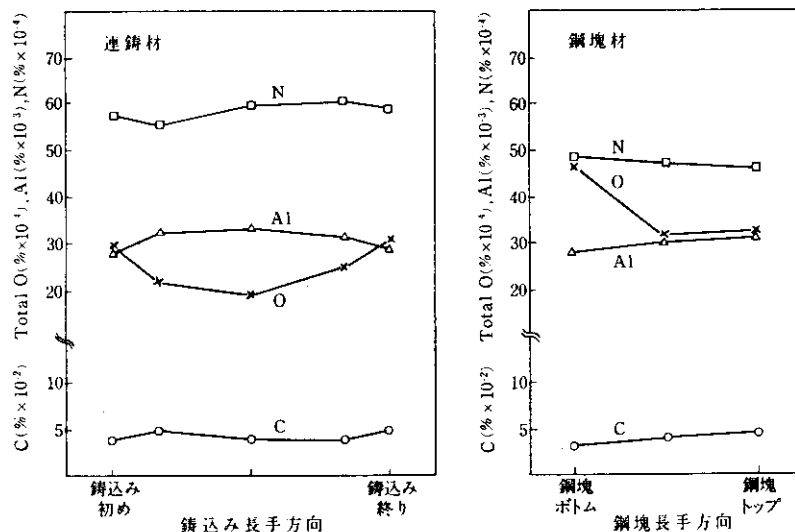


図 6 冷延鋼板における成分変化

り、製品コイルが非常に均質であることを示している。

4.3.2 機械的性質

铸込み長手方向の機械的性質の変化を図7に示す。連铸材の機械的性質で特筆すべきことは、コニカルカップ試験で絞り抜けを生じたことである。このようなことは鋼塊材で見られないことから、連铸材の深絞り性は非常に良いといえる。

図8に $\bar{r}$ (ランクフォード) 値におよぼす Al の影響を示す。連铸材、鋼塊材ともに Al 値が0.030%のときに $\bar{r}$ 値が最大となっている。また両者の比較について、 $\bar{r}$ 値に差

がないという報告²⁾もあるが、本調査では、各 Al 値に対する $\bar{r}$ 値は、連铸材の方が大きいことがわかった。

次に、コニカルカップ試験で絞り抜けを生じた材料について調査した結果を示す。表2にシートチェック分析値の一例を示す。図9に冷延鋼板の

表2 シートチェック分析例 (%)

	C	Mn	P	S	Al	N	O
連铸材	0.04	0.29	0.010	0.014	0.030	0.0060	0.0021
鋼塊材	0.04	0.30	0.010	0.012	0.031	0.0045	0.0035

再結晶集合組織を各面方位のX線反射強度で示す。

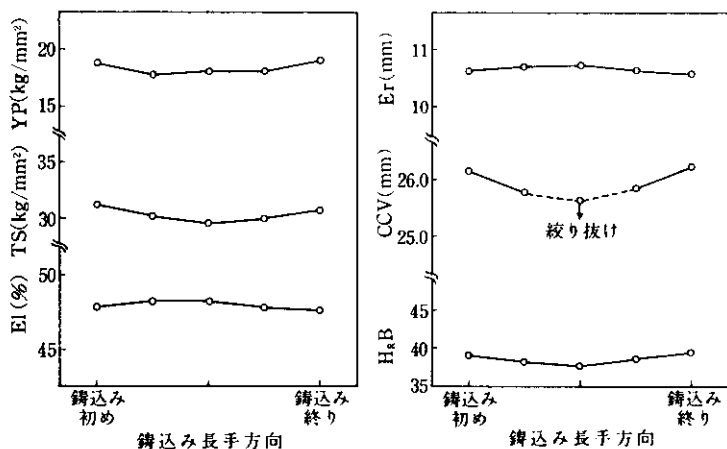


図7 冷延鋼板(板厚0.7mm)の機械的性質

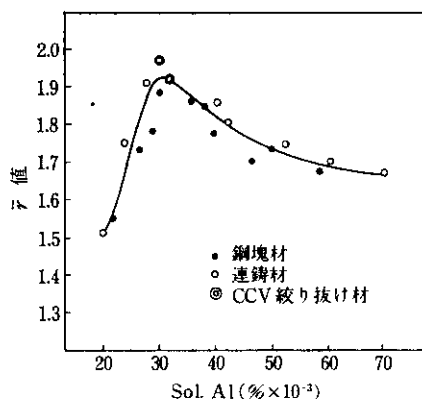


図8 $\bar{r}$ 値におよぼす Sol. Al の影響

絞り抜けを生じた材料の Al 値は図8で $\bar{r}$ 値の最大となる値に相当する。また、図9に示したように、連铸製冷延鋼板の圧延面に平行な(111)面のX線反射強度が鋼塊材のそれにくらべて非常に高いことである。この理由としては、まず連铸材のN量が60ppmであるのに対して、鋼塊材のN量が45ppmと少いことがあげられる。Al量が約0.030%で、N量が約0.0060%のとき、その $\bar{r}$ 値が最大となる³⁾ことはすでに知られており、本

連铸材の組成もこれと全く同じとなっている。つぎに、連铸材は溶製時のO低減策により、鋼塊材にくらべて鋼中O量が低くなっており、酸化物が非常に少いことを示している。このような微細な

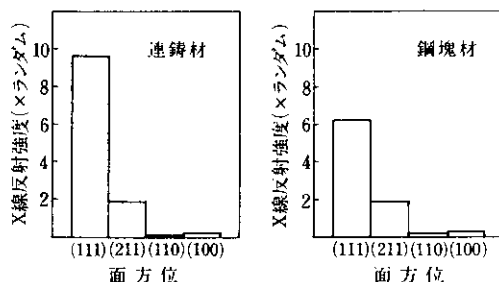


図9 冷延鋼板の再結晶集合組織

酸化物系介在物が冷延鋼板の再結晶過程に影響を与えるということについては2,3の報告がある⁴⁾ことから、O量の違いも影響していることが考えられる。また集合組織におよぼす影響とは別に、清浄な冷延鋼板は塑性変形時、介在物によって生じる空隙(ボイド)が少いため、引張伸びは大きくなるものと思われる。

また、連铸材と鋼塊材のスラブ製造時点における凝固組織と圧延組織の違い、あるいは両者のAl-N析出機構の違いも最終の冷延焼鈍集合組織に何らかの影響を与えることも考えられるが、今のところその確証はない。

このように、その原因については不明な点が多いが、連铸製冷延鋼板の深絞り性が鋼塊材のそれにくらべてすぐれているという結果が得られたことは興味深いことである。

4.3.3 焼鈍加熱速度の影響

連铸製低炭素 Al キルド冷延鋼板の材質におよぼす焼鈍加熱速度の影響を調査した。図10に $\bar{r}$ 値におよぼすAlと加熱速度の影響を示す。加熱速度が小さくなるにつれてAlに対する $\bar{r}$ 値の最大値はAlの低い側に移行し、最大 $\bar{r}$ 値も高くなる。

以上のことから、適量のAlとNおよびより少ないOを含有する連铸製低炭素 Al キルド冷延鋼板を最適加熱速度で焼鈍することにより、従来よりも深絞りのすぐれた深絞り用冷延鋼板が得られることがわかった。

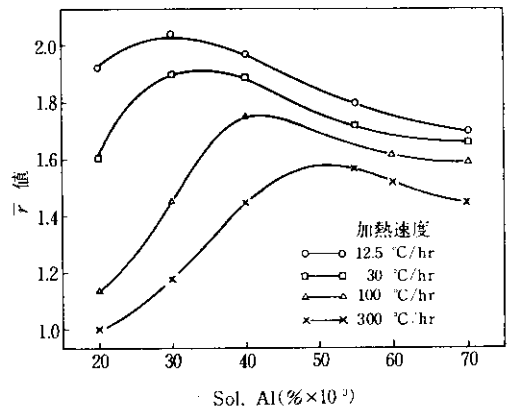


図 10 $\bar{r}$ 値におよぼす焼鈍加熱速度の影響

5. 結 言

水島製鉄所における連铸製低炭素 Al キルド冷延鋼板の品質について述べた。

当所では、スラブ連铸機の稼動以来、設備の改善および技術の向上に努めた結果、今後もさらに表面および内部品質の向上を期待できることがわかった。材質的にも、従来の鋼塊材よりもさらに高品質たとえば深絞り性のより高い水準のものが得られることがわかった。そのほか成分偏析の少ないことおよび介在物が微細化し、分散されていることが証明された。したがって、このような連铸材としての特長を十分生かした製造工程管理が今後の課題となるものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 五十嵐, 他: 川崎製鉄技報, 4 (1972) 4, 40
- 2) 根本, 他: 日本鋼管技報, 50 (1970), 33
- 3) 久保寺: 日本金属学会報, 7 (1968), 383
- 4) 久保寺: 日本金属学会報, 31 (1967), 527