

技術報告

UDC 621.74.047 : 669.14-142-147 : 669.141.241.4

連 鋳 用 リ ム ド 相 当 鋼 の 品 質 特 性

河野 拓夫*・長澤 元夫*²・椿原 治*³
 細野 和典*⁴・江坂 一彬*・石飛 精助*

Qualities of Pseudo-rimmed Steel Sheet Manufactured by Strand Casting

Takuo KOHNO, Motoo NAGASAWA, Osamu TSUBAKIHARA
 Kazunori HOSONO, Kazuyoshi ESAKA, and Seisuke ISHITOBI

Synopsis :

New pseudo-rimmed steel has been developed in order to improve the performance of conventional low carbon Al-killed and Si-killed steels.

This paper describes the operability, formability, surface treatability, surface properties, welding properties, etc., of hot strip, cold strip and surface-treated sheet.

The performance of pseudo-rimmed steel is found almost satisfactory. The deoxidation of molten steel with a minimum amount of Al without using Si has a significant effect on the improvement of the product performance.

1. 緒 言

連鋳化による品質メリットをあげると、鋳片内の偏析、介在物分布、組織が均一であるため、製品の長手、幅方向の材質が均一で、平坦度がよく、造塊、分塊工程省略によつて表面疵もよく、品質が安定していることである。その上製造コストはインゴット法に比し著しく安価であるので、連鋳化比率は年々上伸してきた。ところでリムド、キャップド鋼と同等の品質を有し、適用用途に汎用性がある連鋳鋼は、いまだ未開の分野であつて、従来連鋳アルミキルド、シリコンキルド鋼がこの用途にむけられてはきたが、これらの鋼種はリムド、キャップド鋼と後工程において同一製造条件をとると、程度の差はあるが諸々の問題点をもつことがあきらかにされている。これらの諸問題点を解消するためには、Si を用いず、最小限の Al のみによつて脱酸を実施する必要がある。著者等が前報¹⁾で述べたように、製造上の最大の問題点は、弱脱酸鋼であるため、スラブ表面のピンホール発生防止である。精錬から連鋳まで、脱酸制御と溶鋼の再酸化防止、及び高速、一定鋳造といつた一貫した制御技術と安定した操業が必須である²⁾。本報では、新開発

したリムド相当鋼の成品品質について述べる。

2. 従来連鋳鋼の成品品質上の問題点

従来連鋳アルミキルド、シリコンキルド鋼の主要な品質課題を Table 1 に示す。シリコンキルド鋼は Si-Mn 系介在物がホットコイル中に伸びた状態で存在し、伸びフランジ性に影響を及ぼし、熱延鋼板への適用が困難である。冷延製品とする場合は、介在物を細かく分散させるために、圧下率制限を設ける必要がある。また焼鈍時に Si が表面に濃化することから、テンパーカラーと称する欠陥が発生しやすい。亜鉛めつきに対しても、浴条件等の作業管理が不十分であれば、密着性劣化を起しやすい。アルミキルド鋼も亜鉛めつき密着性に関して問題がある他、熱延後は AlN によつて細粒化されやすく、N の AlN 析出による固定化が不十分であると硬質になりやすい。これらの諸問題点は Si あるいは Al が直接、間接的に関与していると考えられることから、この欠点を排除するため Si を用いず、最小限の Al のみによつて脱酸を実施した、より汎用性があり、品質的に安定した新鋼種を開発した。

昭和 54 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 55 年 10 月 31 日受付 (Received Oct. 31, 1980)

* 新日本製鉄(株)大分製鉄所 (Oita Works, Nippon Steel Corp., 1 Oaza-Nishinosu Oita 870)

*² 新日本製鉄(株)大分製鉄所(現: 君津製鉄所) (Oita Works, Now Kimitsu Works, Nippon Steel Corp.)

*³ 新日本製鉄(株)大分製鉄所(現: 堺製鉄所) (Oita Works, Now Sakai Works, Nippon Steel Corp.)

*⁴ 新日本製鉄(株)大分製鉄所(現: 広畑製鉄所) (Oita Works, Now Hirohata Works, Nippon Steel Corp.)

Table 1. Main problems of the conventional CC steel for hot and cold rolled sheets.

	Hot rolled sheet	Cold rolled sheet	Tin plate Tin free steel	Galvanized steel sheet
CC Si-Killed steel	① *Formability (affected by inclusions)	① *Temper coloring ② *The limit of the reduction ratio ③ *Mechanical properties (hardness etc)	① *Not applicable for limited specification	① *Adhesion of zinc coating ② *Weight of zinc coating ③ *Breakage of sheet during cold rolling (ultra low thickness)
CC Al-Killed steel	① **Carburizing properties ② Slightly excessive hardness	① **Carburizing properties (occasionally)	① *Corrosion behaviour of the sanitary can (limits of Si content)	① **Adhesion of zinc coating

* possibly related to Si ** possibly related to Al

Table 2. Example of chemical composition of pseudo-rimmed steel.

(wt %)						
C	Si	Mn	P	S	Al	N
0.04	0.01	0.25	0.015	0.014	0.006	0.0022

3. 成品品質

新鋼種の代表的成分例を Table 2 に示すが, Si-free, 低 Al が特徴である。しかし成分系は適用用途により細分化管理すべきものである。新鋼種は連铸鋼として弱脱酸鋼に属し, 成品品質上影響を与えぬ程度の脱酸元素の添加は実施してもよい。熱延, 冷延, 表面処理鋼板に対

する操作性, 成形性, 表面処理性, 表面特性, 溶接性等について確性した。その主な確性項目と結果を Table 3 に示す²⁾。リムド, キャップド鋼と比較すると同等以上であり, 連铸他鋼種とも比較すると, 新鋼種は明らかに優位である。

3.1 熱延鋼板

機械的性質を調査した結果を Fig. 1 に示す。新鋼種は RH 処理, 各工程の断気対策によつて N 量は実績で 30 ppm 以下であり, 低 Al 化にかかわらず硬質になることはなく, アルミキルド鋼と同等である。加工性を評価する上で重要な伸びフランジ性について Fig. 2 に示し, 鋼板の清浄度を Fig. 3 に示す。前報⁷⁾に铸片の介在物量を示したが, シリコンキルド鋼の 1/4 以下である。新鋼種は Si-free とし, RH 処理を実施することに

Table 3. Quality of pseudo-rimmed steel.

Hot rolled sheet		Cold rolled sheet		Galvanized steel sheet		Tin plate Tin free steel	
Item	Evaluation	Item	Evaluation	Item	Evaluation	Item	Evaluation
Surface defect	◎	Surface defect	◎	Surface defect	◎	Surface defect	◎
Flatness	◎	Flatness	◎	Flatness	◎	Flatness	◎
Productivity of rolling	○	Productivity of rolling	○	Adhesion	○	Hardness	○
Formability	◎	Formability	◎	Formability	◎	Corrosion resistance	○
Surface treatment	○	Annealing behaviour	○	Surface treatment	○	Surface property	○
Weldability	○	Surface treatment	○				
		Weldability	○				

◎ superior. ○ comparable. × inferior : to rimmed or capped steel

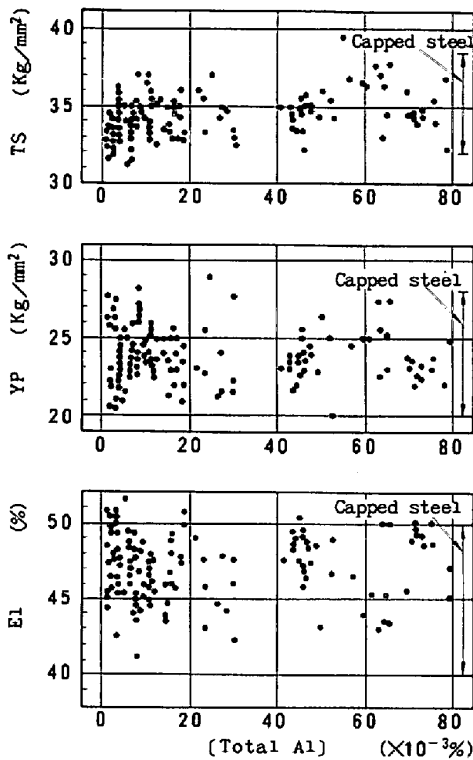


Fig. 1. Effect of Al on mechanical properties of hot rolled sheet.

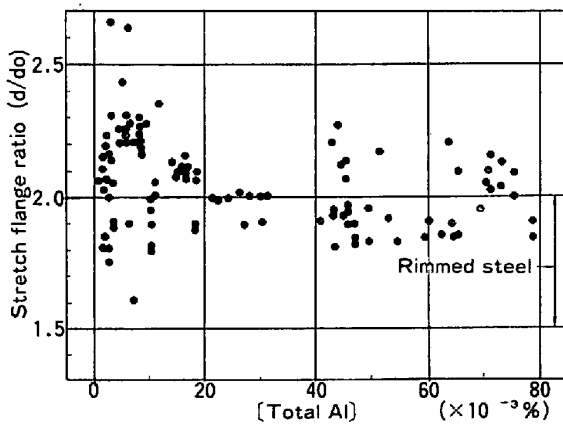


Fig. 2. Effect of Al on stretch flange ratio of hot rolled steel.

よつて清浄度は良好で、また介在物の形態はシリコンキルド鋼が MnO-SiO_2 系が主体のA系であるが、新鋼種では Al_2O_3 主体のB系の介在物で、アルミキルド鋼と同等の伸びフランジ性を確保できる。

アルミキルド鋼を浸漬亜鉛めつきに適用した場合に、合金層が発達し、合金層率(全めつき厚に対する合金層厚比率)が高く、いわゆるめつき焼けが発生しやすく、めつき厚も厚くなる。Fig. 4 に各鋼種ごとの合金層厚と合金層率を示す。新鋼種はリムド鋼と同等でアルミキルド、シリコンキルド鋼に比べて良好である。酸洗済熱延鋼板に化成処理を施すと色むら、背抜きと称する欠陥

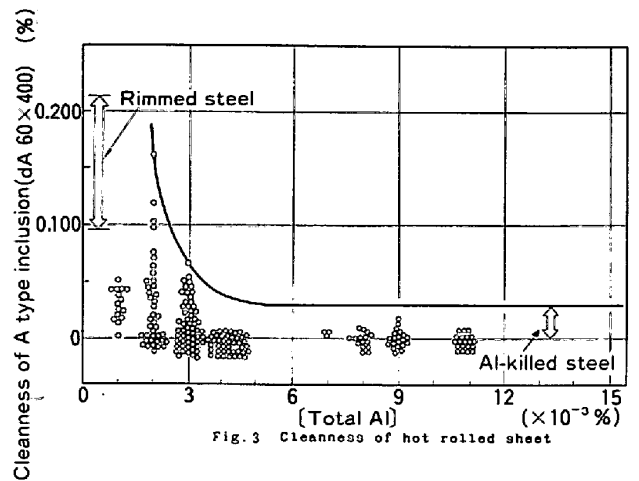


Fig. 3. Cleanness of hot rolled sheet.

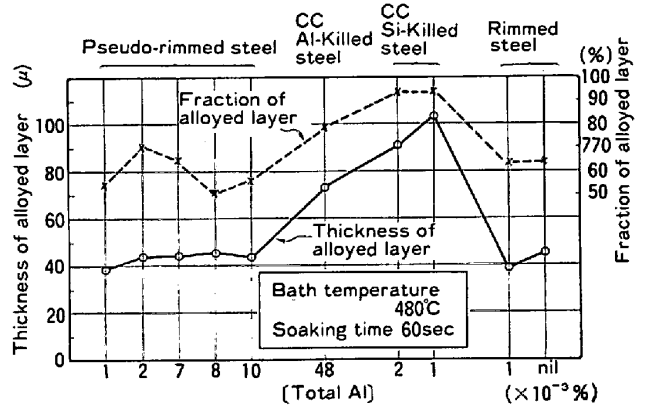


Fig. 4. Alloyed layer of various steels in galvanizing (hot rolled sheet).

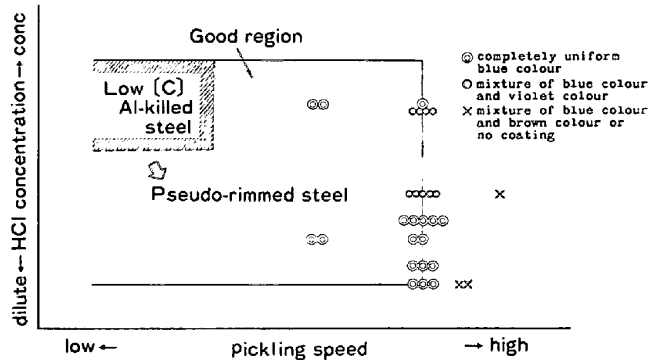


Fig. 5. Effect of the pickling condition on phosphate coating.

がたびたび発生するが、この鋼種では酸洗条件を適正に選べば発生を抑制することができる。Fig. 5 に示すように新鋼種は酸洗条件の適用範囲がアルミキルド鋼よりも広く、生産上支障をとまらうことはない。ホイールリム等に使用されるフラッシュパット溶接性は良好であった。また浸炭焼入れ性はリムド鋼並みで、アルミキルド鋼より良好であり、酸洗減量はリムド鋼、他連铸鋼種と

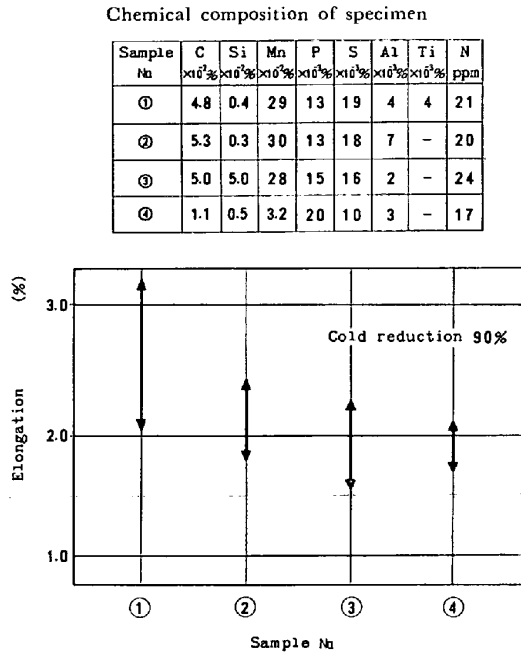


Fig. 6. Ductility of cold rolled sheet of high reduction ratio.

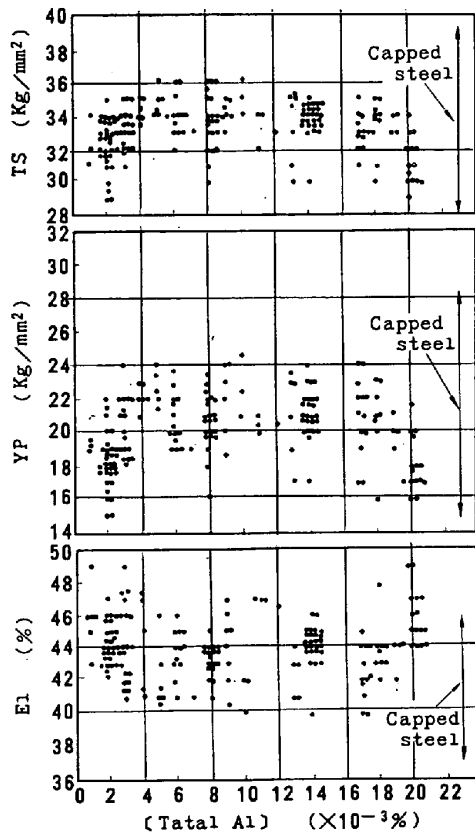


Fig. 7. Effect of Al on mechanical properties of cold rolled sheet.

差はない。

3.2 冷延鋼板

シリコンキルド鋼をレバースミルで極薄材に圧延する時、冷延破断が問題となることがあり、その主原因は表

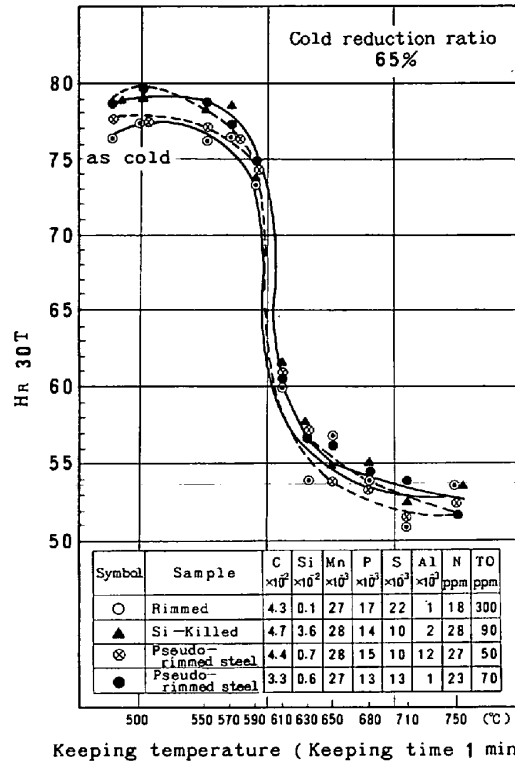


Fig. 8. Recrystallization behaviour of various steels.

面疵、板幅端部の混粒などである。一方新鋼種、シリコンキルド、低炭素鋼について熱延板を実験室冷延機で高圧下率冷延(90%)し、冷延材をそのまま引張試験を実施した結果を Fig. 6 に示す³⁾。固溶C、Nと伸びに相関があり、Ti、Al は固溶C、Nを減少させ、高冷間圧下時の伸びを大きくする。Si 添加はフェライト中の固溶Cを増し、圧延変形時のセル径を小さくし、高冷間圧下時の伸びを減らすことがわかった。冷延破断は圧延条件によつて影響を受けるが、新鋼種を適用することによつて冷延破断率はシリコンキルド鋼適用時の約1/2以下になった。

熱延条件を変えた熱延鋼板を、実験室冷延機で圧延し、焼なましして調査した材質試験の結果を Fig. 7 に示す。キャップド鋼と比較して同等以上であり、加工用途まで適用できる。また圧下率にも制限はなく、張り出し、絞り-張り出しタイプに成形した結果でも、リムド鋼に比べ同等以上であった。

低 Al 領域での再結晶挙動および再結晶後の特性について調べた研究は数少なく⁴⁾、十分に明らかにされていない。再結晶挙動と Al 量の関係を調査した結果を Fig. 8 に示す。再結晶温度はアルミキルド鋼がリムド鋼よりも高いことはよく知られているが、低 Al (Al $\leq 25 \times 10^{-3}\%$) 範囲でシリコンキルド鋼、リムド鋼と差がない。低 Al 範囲の AlN の析出挙動を調査し

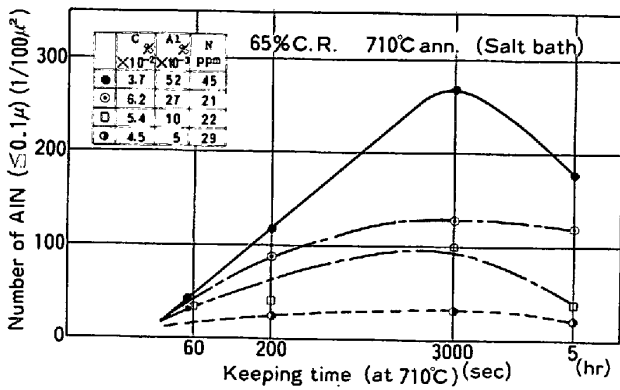


Fig. 9. Change of number of precipitate (≤0.1 μ).

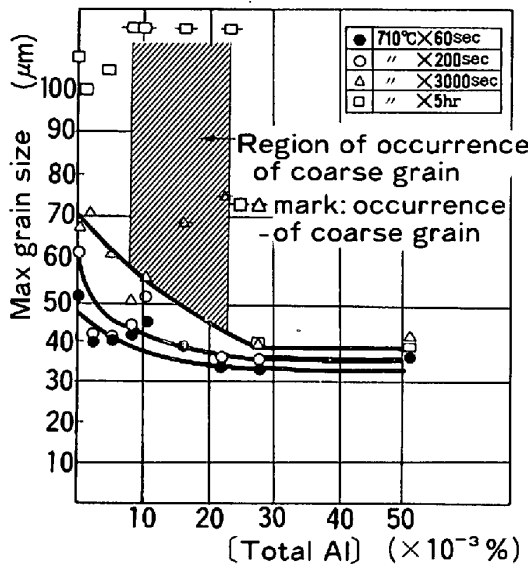


Fig. 10. Effect of Al on grain size of recrystallization.

た. AlN の析出物径, 密度およびその後の凝集過程は, 成分, 昇温速度, 均熱温度, 時間の影響を受ける. いま圧下率 65% の冷延板をソルトバス (昇温速度 60°C/s) で恒温処理した時の析出物径, 密度および結晶粒度を測定した. その結果, 0.1 μ 以下の微細析出物 (AlN) は結晶粒成長を抑制する効果があることがわかった. また一定温度下で, 保持時間によつて析出物個数にピークがあり, ピーク時間を越えると凝集し個数は減少する⁵⁾. (Fig. 9) このことは Al が二次再結晶に対しても影響があることを示す. Al については次の 3 領域に分けて考えることができる. (Fig. 10)

①低 Al 領域……Al ≤ 8 × 10⁻³ % (N 20~30 ppm, 急速加熱)

析出量が少ないため, 一次再結晶完了時 (710°C で約 3000 sec) の粒径が大きく, normal grain growth である. 粒界エネルギーも小さいため, 二次再結晶は生じない.

②中間 Al 領域……8 < Al < 22 × 10⁻³ % (N 20~30 ppm, 急速加熱)

一次再結晶完了時の粒径が小さく, 粒界エネルギーは高い. 析出物が時間経過により凝集し個数が減少するので, 二次再結晶が生じやすく粗大粒となる.

③高 Al 領域……Al ≥ 22 × 10⁻³ % (N 20~30 ppm, 急速加熱)

一次再結晶完了時の粒径が小さく, 粒界エネルギーは高いが, 粒成長を抑制する析出物量が多く, 二次再結晶は発生しない.

昇温速度を変えて調査した結果では 0.1 μ 以下の析出物個数は, 昇温速度が速いほど少なく, 焼なまし条件によつて前述の Al 範囲は変わる. 焼なまし温度が高く長時間均熱の時に, 二次再結晶による異常粗大粒が発生する Al (正確には AlN 密度) 範囲が存在する. Al を極力少なくすることが最も望ましいが, Al が二次再結晶を起こす範囲であつても, 微量の脱酸元素 (例えば Ti 等) 添加で生成する炭, 窒化物が二次再結晶防止に効果がある. また微量添加であれば, 再結晶温度は上がらない.

低 Al 範囲での時効性と異方性について実験室冷間圧

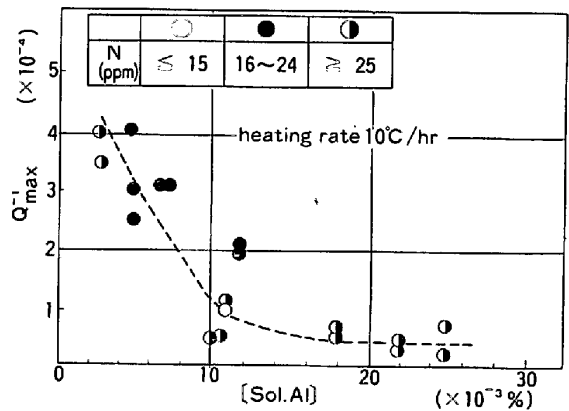


Fig. 11. Relation between sol. Al and Q_{max}⁻¹.

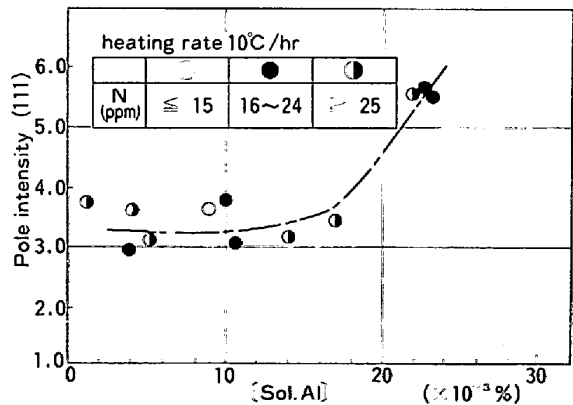


Fig. 12. Relation between Al and pole intensity (111).

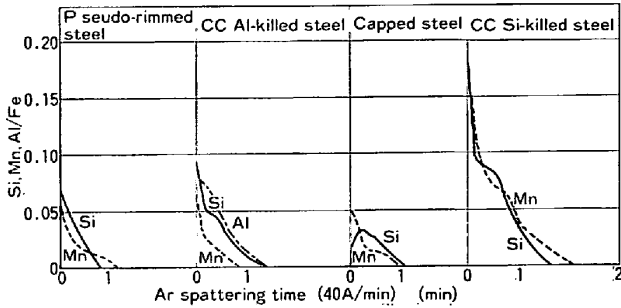


Fig. 13. Variation in Mn and Si concentration as a function of depth below the original surface determined by AES.

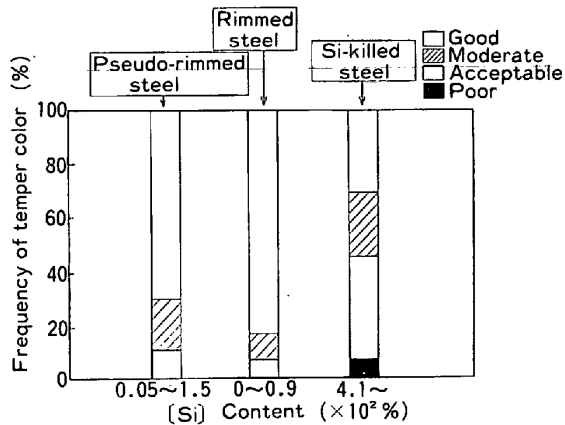


Fig. 14. Relation between frequency of temper color and [Si] content of steel.

延機で圧延し、焼なましした（昇温速度 10°C/h, 710°C × 5 h）結果を Fig. 11, 12 に示す⁶⁾。Al が 10 × 10⁻³% 以上であればスネークピーク値が減少し、これは固溶Nの減少に対応しているので非時効性を示す。Al が 18 × 10⁻³% 以上で冷延再結晶後の(111)の強度が強くなり、R値の異方性が大きくなる。

以上低 Al 領域での再結晶、析出挙動を実験データで述べたが、新鋼種は適用用途によつて Al 範囲を規制する。一般的にリムド、キャップド鋼用途に使用する場合は、低 Al 範囲とし、低N化をはかっているが、ある程度の時効性はある。

Si, Mn, Al は焼なまし時に Fig. 13 に示すように表面濃化現象があり、テンパーカラーが発生することがたびたびある。これは Si の影響が大きい。Si 量がテンパーカラーの発生率に及ぼす影響を Fig. 14 に示す。Si 量の低減が効果があることがわかる。化成処理性、ガス溶接性、スポット溶接性、原板腐食性についてもリムド鋼と同等であり、連铸他鋼種と比較すると同等以上である。形状、表面疵、UST 検査等は連铸他鋼種並みであり、連铸材のメリットは十分に発揮できる。

3.3 表面処理鋼板

形状、表面疵の要求品位が厳しいぶりき、ティンフリ

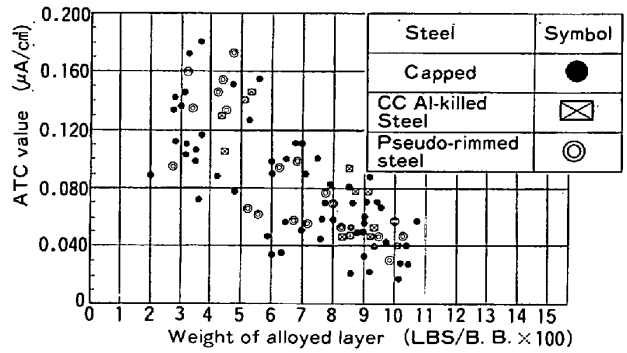


Fig. 15. Relation between weight of alloyed layer and ATC value.

Fig. 15. Relation between weight of alloyed layer and ATC value.

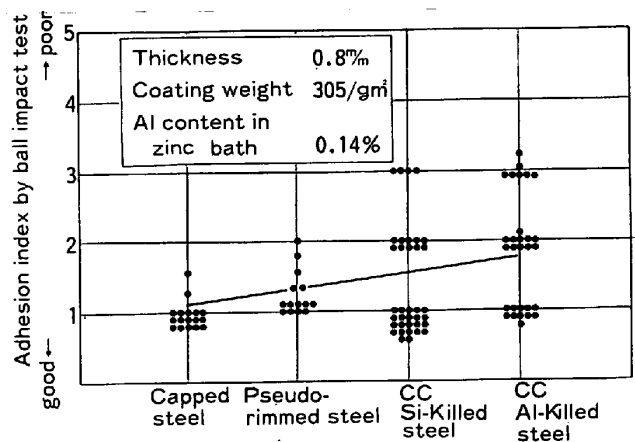


Fig. 16. Adhesion of zinc coat.

ースチールに適用したところ、連铸他鋼種と同等で、キャップド鋼よりも良好である。耐食性について調査したが、アロイ量と ATC 値の対応を Fig. 15 に示す。新鋼種はアルミキルド鋼、キャップド鋼と同等の耐食性を示す。錫結晶粒度、鉄溶出試験、ピクルラグ値、はんだ性、塗装性、塗装耐食性についても問題がないことが確認されている。

亜鉛めつき密着性について調査した結果を Fig. 16 に示す。浴 Al 0.14% の条件下で亜鉛めつき密着性を評価したもので、シリコンキルド、アルミキルド鋼よりも良好である。フラックス法による亜鉛めつき、ターンシートおよびアルミめつきに使用した場合も良好である。もちろん材質、形状、表面疵は連铸他鋼種と同等である。

4. 結 言

従来連铸鋼の特色である内質、材質の均一性、介在物の少ない清浄性、疵の少ない表面品質を有したまま、従来連铸鋼の諸問題点を解消する新鋼種の実現が必要であった。そのために、亜鉛めつき密着性、冷延製品のテンパーカラー、圧下率制限の撤廃などの表面特性、内質、材質上の問題点を解消するため、Si を用いず、最小限の

Al のみによつて脱酸した、汎用性があるリムド相当鋼を開発し、基礎実験と、熱延、冷薄、表面処理鋼板に適用して、その効果が確認された。その製造法については、転炉から鋳造までの一貫技術が必要で、脱酸コントロール、溶鋼の再酸化防止、及び一定、高速鋳造の確立によつて、安定した実績を示している。

文 献

- 1) 河野拓夫, 椿原 治, 石飛精助, 江坂一彬, 長澤元夫: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 752
- 2) 椿原 治, 早野 成, 細野和典, 石飛精助, 江坂一彬, 豊田和臣, 長澤元夫: 鉄と鋼, 65

(1979) 11, S 753

- 3) 早野成, 江坂一彬, 勝山憲夫: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 768
- 4) Y. MEYZUO, P. PARNIERE, B. J. THOMAS: A praitre dans les Mémoires Scientifiques de la Revue de Metallurgie, 307 Mai (1977)
- 5) 早野 成, 江坂一彬, 勝山憲夫: 鉄と鋼, 65 (1979) 11, S 1025
- 6) 勝山憲夫, 江坂一彬, 早野 成: 鉄と鋼, 66 (1980) 11, S 1248
- 7) 河野拓夫, 長澤元夫, 椿原 治, 細野和典, 江坂一彬, 石飛精助: 鉄と鋼, 67 (1981) 8, p. 1241