

## (146) リムド鋼の非金属介在物について

日新製鋼呉工場 角谷 卓爾

" 南陽工場 藤岡外喜夫

" 呉工場 O松倉 隆

## Non Metallic Inclusions in Rimmed Steels.

Takuji KAKUTANI, Tokio FUJIOKA  
and Takashi MATSUKURA.

## I. 緒 言

リムド鋼に含まれる介在物、とくにその大型のものは熱延および冷延帯鋼として使用される場合、しばしば二枚板、ラミネーションのような欠陥になつて、深絞り加工、溶接などに支障をきたすことはよく知られているとおりである。

筆者らは介在物の組成、造塊条件による変化、および発生原因を明らかにするため、メルツ式 80~100 t 塩基性平炉で溶製した多数の単重 4~5 t 程度の低炭素リムド鋼塊について、主として熱延帯鋼でいろいろの調査を行なつたので、その結果を報告する。

## II. 実験方法

まず鋼塊内各位置に現われる大型介在物の種類を列挙してその組成を同定した。同定法としては、主として ASTM に規定されている、光学顕微鏡による腐食試験法を用い、一部ヨードアルコール法により化学分析を行なつた。つぎに一連の現場造塊実験を行ない、溶鋼中酸素量、リミングアクションの強弱、上注と下注の差、NaF 添加方法、リム層の厚さなどの諸条件の影響を調査したのち、その成因について若干の考察を行なつた。

## III. 実験結果とその考察

## 1. 鋼塊内各位置における大型介在物の種類

一連の鋼塊およびスラブのサルファープリントを参照し 6mm 厚鋼板試料で介在物を同定した。

## (i) 鋼塊頭部の残存スカム

スラグの切捨不十分な場合に、鋼塊頭部にスカムが残存する。(Fig. 1a) これらはいずれも MnO, FeO, Mn(Fe)O-SiO<sub>2</sub> を主体とし、Mn(Fe)S, あるいは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> などが複合している。

## (ii) 鋼塊頭部の濃厚偏析

この部分には単相の硫化物 Mn(Fe)S, あるいは FeO を主体とし、これに FeO-MnO の oxisulphide が複合したものの、2種類が群集している。

## (iii) 鋼塊上半部の Δ 偏析部

鋼板試料ではサルファーバンドとして認められるが、この部分の介在物は比較的小さな硫化物あるいは oxisulphide が群集している。またときには sulphide に silicate が複合しているもの、あるいは Mn(Fe)O-SiO<sub>2</sub> が存在する。

## (iv) 鋼塊中央部から底部にかけての気泡性偏析部

鋼塊の中央部から底部にかけてはリム、コア境界部付近に気泡性偏析に伴なう、サルファーバンドが現われるが、この部分の介在物は単体の MnS あるいは oxisulphide が連なっている。

## (v) 鋼塊下半部のマクロエッチ不良部

鋼塊の下半部、とくに底部寄りには、塩酸マクロエッチで不良を示す部分がある(この部分に存在する介在物は大半が silicate MnO-SiO<sub>2</sub> (Fig. 1b)で、ときには Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> あるいは Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> が複合しているものがある。また MnS-FeO 共晶 (Fig. 1c), FeO と oxisulphide の複合 (Fig. 1d) なども存在する。

これら各種の大型介在物は、それぞれ材質に悪影響をおよぼすが、とくに鋼塊頭部の残存スカム、鋼塊下半部コア部の珪酸塩系介在物は二枚板またはラミネーションの原因になる。

またコア部あるいはリムコア境界部に oxisulphide が連続しているときは、やはりラミネーションの原因になる。しかし鋼塊上半部の Δ 偏析部に現われる小型の sulphide または oxisulphide の群集は事実上あまり悪い結果を与えてはいない。また鋼塊頭部の濃厚偏析に認められる FeO あるいは oxisulphide の群集はガス溶接にさいし、とくに悪影響を与えるものと思われる。

## 2. 造塊条件の影響

## (i) リミングアクションとラミネーションの関係

a) 取鍋における脱酸度を変化させ、造塊中は Al あるいは NaF をまったく添加せずに造つた上注鋼塊のリミングアクションを異にするもの 4 本を 6mm 厚の成

品に圧延後、鋼塊内の各場所に相当する部分について、清浄度とラミネーションを調査した。この結果では、リミングアクションの激

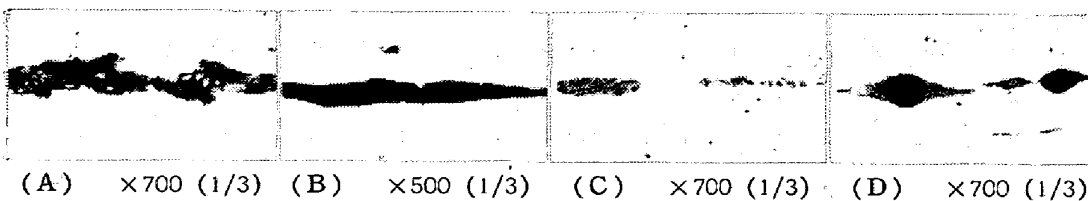


Fig. 1. Examples of large inclusions in rimmed steels.

しいものは、材質はむしろ良好であり、リミングアクションの弱いものは、鋼塊下半部のリム、コア境界付近にラミネーションを生じ、底部には珪酸塩系介在物によるラミネーションができる。

b) 差物前酸素量の低い鋼番と高い鋼番をそれぞれ注入管別に Al や NaF を添加して、リミングアクションを調整し、鋼塊頭部形状が box, hat level, および slightly rising の 3 種の下注鋼塊をつくり、a) と同様成品の介在物を調査した。この結果では NaF を注入管から多量に加えて強制的に box hat にしたものはラミネーションが多く、とくに溶鋼中酸素量の多い鋼番のものにはなほだしい。また slightly rising および level は鋼塊下半部のリム、コア境界付近に若干サルファーバンド系のラミネーションを生ずるが、その程度は軽い。

(ii) 上注と下注との差

日常生産材で同一溶鋼を上注と下注に注ぎ分けたもの 12 鋼番について調査した結果は、上注材は下注材に較べて、珪酸塩系介在物が少なくなり、またラミネーションの発生程度も少ない。

(iii) NaF 添加方法の影響

NaF の添加方法を定盤ごとにつきの 3 種にして下注し、成品での介在物を調査した。

- a) 注入管から鋼塊当り 0.05 kg 添加
- b) 鑄型中へ鋼塊当り 0.2 kg 添加
- c) 全然添加せず。

この結果では、清浄度には有意差が見られなかつたが、7 鋼番にわたり帯鋼を裁断して、二枚割れ不良指数を比較すると、鑄型内添加がもつともよく、注入管添加がもつとも悪い成績となつた。

(iv) 溶鋼中酸素量とラミネーション

溶鋼中酸素量(差物前、鍋下)がラミネーションにおよぼす影響を明らかにするため、成品における介在物との関係を求めた。帯鋼裁断時の二枚割れ不良指数と溶鋼中酸素量との関係は Fig. 2 のごとくで、かなりばらつきはあるが酸素量が増すと、ラミネーションも増す傾向

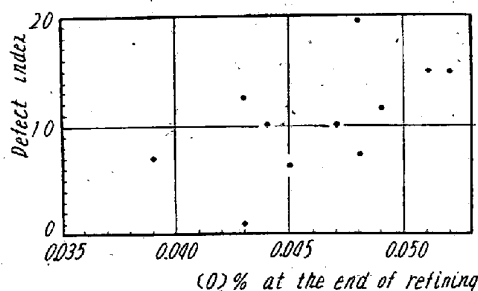


Fig. 2. Relation between [O] % at the end of refining and defect index.

があり、とくに差物前酸素の影響が明らかなようである。

(v) リミングアクションの停止時期とラミネーション

12 鋼番について注入後頭部のリム層形成がそれぞれ 80mm, 100mm, 120mm になつたとき、蓋を置いてリミングアクションを停止させた。この結果では停止時期が早すぎると酸素含有量を増し、またコア部のラミネーションを増加している。逆に遅すぎると気泡性偏析を増してリム、コア境界のラミネーションを増加している。

(vi) 珪酸塩系介在物の生成

a) 鍋下生サンプルの介在物

取鍋直下でサンプルを採り、Al キルせず凝固させた試料を鍛造比 10 に伸し、切断して調べると、マクロ的に検出される砂疵を含んでいることがある。このような部分を避けて清浄度を測定すると、大体は成品よりかなり綺麗である。この砂疵は珪酸塩系介在物あるいは酸化物系介在物で前者は耐火物の溶損によつて生じたもの、後者は恐らく脱酸生成あるいは空気酸化によるものと思われる。また珪酸塩と酸化物の複合したものも見られる。

b) 浮滓の組成

注入中および注入終了後凝固まで湯面にはスカムが浮上してくる。12 鋼番について下注鋼塊の注入終了直後と 5 分経過後新しく発生したスカムを採取しその成分を分析した。注入終了直後は SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が多く、注入時の湯道耐火物の溶損、混入などがうかがわれる。注入終了 5 分後のものは MnO, FeO が増加しており湯面における酸化の影響が判る。

上記各項を総括して考察するとつぎのようなことがいえる。

溶鋼中の酸素量が多いときは、リミングアクションを活発にし、介在物を浮上させる力が強いが下注ぎでは注入管、湯道などの耐火物を溶融して珪酸塩系介在物を増加さす。

とくに注入管からリミングアクションの賦活剤として NaF を添加するとこの傾向が烈しい。酸素量が少なくてリミングアクションが弱いときには、鋼塊の下半部における気泡性偏析を増して、この部分のサルファーバンドを発達させ、軽度ではあるがラミネーションを生ずる。蓋置時間が遅れてもこの傾向が認められる。取鍋中にはすでに珪酸塩、酸化物、酸化物—珪酸塩系介在物が存在しているが、これは炉中で生成したもの、出鋼時の空気酸化、取鍋耐火物の溶損などによるものであろう。

さらに湯道耐火物を溶融したもの、注入時の空気酸化、凝固過程で湯から分離する酸化物などが鑄型内で凝集しつつ浮上し、スカムとなるが、これには硫化物も吸収されている。これらは湯熱の低下、リミングアクションの不活発、溶鋼の静圧などで一部は浮上しきれず、いはば微滓となつて、リム層の樹枝状晶にとらえられたり、気泡の周囲の偏析や鋼塊下部の沈デン晶中にとらえられて、鋼塊中に残るとラミネーションの原因になるものと思われる。

#### IV. 結 語

以上リムド鋼に現われる大型介在物の組成を究明し、リムド鋼の材質にもつとも悪い影響をおよぼすのはスカムとして浮上しきれずに鋼塊中に残留する砂疵性の介在物であることを確めた。

### (147) キルド鋼塊の製造におけるアルミニウムの使用

住友金属工業中央技術研究所

田 上 豊 助

#### Aluminium Addition in Production of Killed Steel Ingots.

Toyosuke TANOUÉ.

#### I. 緒 言

製鋼の操業末期において溶鋼の仕上処理のために Al が使用されることが多い。仕上処理のための添加剤としては、Al, Ti, V, B, Ca, Mg, 稀有土属元素などがあるが、一般市販鋼の 90% 以上は Al を用いて仕上処理が行なわれている。Al の添加によつて、(1) 気泡の発生、(2) 非金属介在物の性状や鋼塊内の分布、(3) オーステナイト結晶粒、(4) 割れに対する敏感性、(5) 加工性、機械的性質など、が変化する。これら被影響因子のうち、あるものは目標とする望ましい状態に変化する。しかしある因子は望ましくない状態に移行する。したがつてすべての被影響因子をできるだけ望ましい状態に持ちきたすための適正な Al 使用量の選定と使用のために生ずる悪影響の防止が生産技術上重要な研究課題である。以下、各因子に対する Al 添加の影響と付随する問題について略述する。

#### II. 気泡の発生防止

リムド鋼やセミキルド鋼においては製品の品質や歩留の向上を計るため、管状気泡の発生量や発生位置の調節あるいは鋼塊の内殻偏析の軽減を目的として efferves-

gency の調節用として Al の使用が行なわれることは周知のことである。

キルド鋼においては気泡の発生を皆無とすることを目標として Al の添加が行なわれるが、砂疵の発生や鋼塊割れの発生などに対して Al の添加が悪影響をもたらす場合や、オーステナイト結晶粒について粗粒を目標として溶製せねばならぬ場合には Al 添加量を制限しなければならない。Al 含有量に対して狭い目標範囲を選ぶか、あるいは Al 以外の脱酸剤を使用するなどの操作を行なわなければならない。気泡による製品欠陥の発生する Al 含有量の上限は 0.004% 付近にあり、0.004% 以上の鋼材に気泡欠陥が現われることはほとんどない。O 含有量から見ると 0.008% 以上になると気泡欠陥が現われやすい。鋼種、製鋼条件、製品までの加工条件などによつて気泡欠陥の発生の難易は異なり、C, Si の含有量低く Cr その他の脱酸元素の含有量の少ない鋼種、炉中鋼浴の O 含有量高く脱酸元素の歩留の不安定な平炉、大型鋼塊、下注造塊、高温鑄込、低速鑄込、圧延や鍛造の加工比が小さいなどの製造条件において気泡欠陥は発生しやすい。

#### III. 非金属介在物、砂疵におよぼす影響

Al の添加によつて非金属介在物や砂疵の組成、形態が変化する。Al の添加によつて含有される O の一部または大部分が  $Al_2O_3$  に変化する。一般キルド鋼の Al 含有量と O 含有量との関係ならびに O の  $Al_2O_3$  への変換率との関係を Fig. 1 に示す。Al 含有量 0.002~0.004% 付近で含有される O の大部分が  $Al_2O_3$  に変化する。FeO, MnO,  $SiO_2$  の成分が減少し  $Al_2O_3$  が増加する。0.004% 以上においては Al 含有量による酸化介在物の組成変化は少ない。

酸化介在物の組成変化に伴つてその形態が変化する

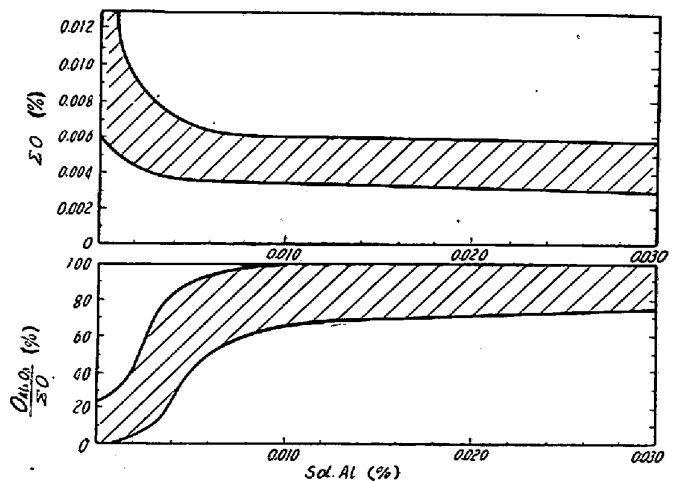


Fig. 1: Change of oxygen in steel by addition of aluminium.