

---

A New Sulfide-Shape Control Technique for Producing HSLA Steels Free from Hydrogen Induced Cracking

(Osamu Haida) (Toshikazu Sakuraya) (Toshihiko Emi) (Yoichi Nakai)

---

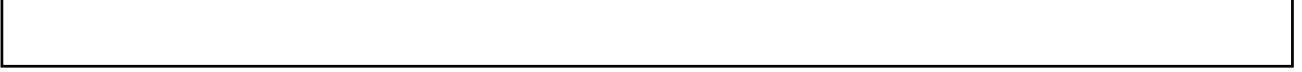
Ca RE  
 0.5kg/t  
 , Ca S  $0.28 \cdot 10^{-3}$ ,  
 V, V MnS  
 Mn 1.2 1.9  
 3

---

Synopsis :

A new sulfide-shape control technique has been developed which minimizes the precipitation of MnS in channel-type segregates and prevents the occurrence of Ca- or RE-bearing macroinclusions in subsurface and bottom cone of ingots of Ca- or RE-treated HSLA steel. The degree of sulfide shape controlling with Ca or RE is uniquely evaluated in terms of ACR (Atomic Concentration Ratio) of effective Ca or RE to S in the melt in mold. Precipitation of MnS in the channel-type segregates is made minimal by keeping the value of ACR in excess of 1.8 at [%Mn]=1.2-1.9 and [%Mn]=1.0, at which virtually no hydrogen induced cracks are found under BP-test conditions. Subsurface macroinclusions are found eliminated by limiting the amount of addition of Ca not exceeding 0.5kg/t-steel when feeding iron-clad Ca-wire into Arshrouded teeming spout. Bottom cone sedimentation of clustered CaS or RES and RE<sub>2</sub>O<sub>2</sub>S inclusions, which also causes HIC, is found to disappear at [%Ca][%S]<sup>2</sup> > 0.28 · 10<sup>-3</sup> in Ca-treated ingots and at [%RE][%S] > 1<sup>-3</sup>

(c)JFE Steel Corporation, 2003



UDC 669.14.018.292.019  
620.192.45/.46:56.11  
546.41'221:546.651/.659'221

## 硫化物形態制御による耐水素誘起割れ鋼の開発

A New Sulfide-Shape Control Technique for Producing  
HSLA Steels Free from Hydrogen Induced Cracking

梶 田 治\* 桜 谷 敏 和\*\*

Toshihiko Emi

Yoichi Nakai

A new sulfide-shape control technique has been developed which minimizes the precipitation of MnS in channel-type segregates and prevents the occurrence of Ca- or RE-bearing macroinclusions in subsurface and bottom cone of ingots of Ca- or RE-treated HSLA steel. The degree of sulfide-shape controlling in Ca- or RE-treated HSLA steel is discussed.

水素誘起割れは、硫化水素が水と共存して鋼表面を腐食する際発生する水素が鋼中に侵入し、非金属介在物と母材の界面で水素分子となって膨れの圧力を生じたり、介在物周辺の母材を水素脆化するために生じる。非金属介在物のうちでも、MnSは、熱間圧延によって薄く伸ばされ、その先

## 2. 調査研究方法の概要

### 2.1 精錬造塊条件

構造用高張力鋼(SM50)とパイプ用鋼(API 5LX  
X52-X70)を100tまたは200t I.D.転炉で溶製し、

$$I_A = \frac{\Sigma (\text{圧延方向 A 系介在物長さ})}{(\text{圧延方向 B 系介在物長さ})} \times 100$$

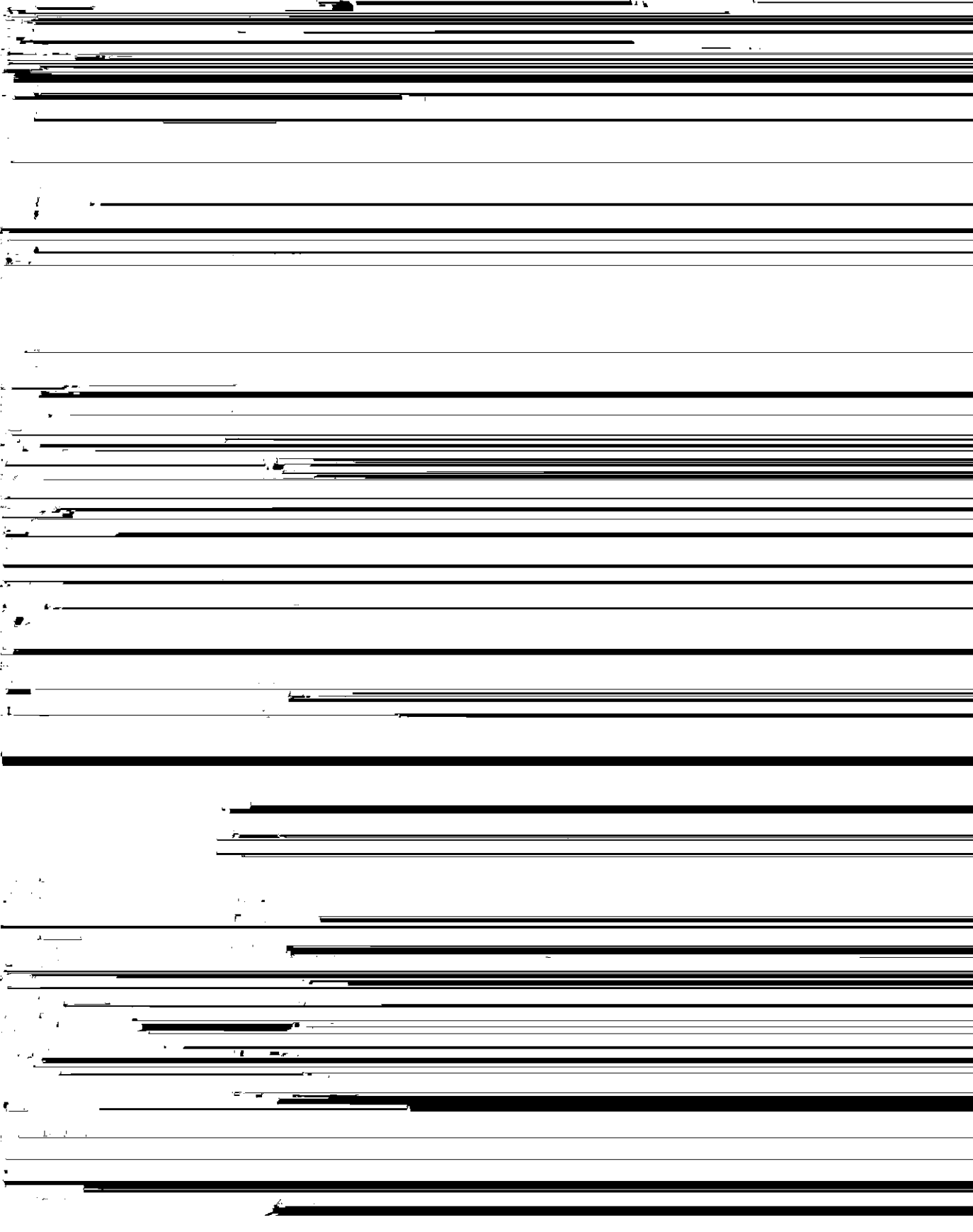
量は少なくなり、Caガスとして系外に逸散する割合が増える。Ca添加量が0.5kg/t-steelを越える

銅板は、100×100×全厚の試片を25±3°C、pH 5.1～5.4のH<sub>2</sub>S飽和人工海水中に96h浸漬し、発生したすべての水素誘起割れを板面への投影面積

として測定し、その面積を板面積で割った値を水素誘起割れ率とする。

と湯面被覆剤との反応、および湯面での攪拌が激しくなることによる介在物の巻込の増加などが原因と考えられる。

Wide face section	Narrow face	
-------------------	-------------	--





4-3 クラスター状介在物の底部集積機構

すなわち

$$\log t_n = 2n \log \Omega + \log t_0 \dots\dots\dots(4)$$

帯を形成する粒状品が、溶鋼中を沈降する際にそれに捕捉され引き下げられて底部集積することが明らかになっている<sup>8)</sup>。しかし、RE添加鋼塊の介在物底部集積が10~20mm間隔の層状であることお

の関係が導かれる。

RESの層状集積の位置を、実測されている沈殿品帯生成速度<sup>8)</sup>を用いて析出時間 $t_n$ に換算し、この対数と $n$ の関係を調べたのがFig.8である。

とは、この機構では説明できない。そこで Fig.7

に示すように、遊離炭の1%析出時に析出した

1/4



min 後) までを除くと、鋼塊 A、B とも良い直線性 に増加する。同図中の実線で示した平均(%Ca)

と、同様に増加している Ca 濃度を計算し、

### 5-2 Ca, REによる大型鋼塊内の硫化物形態制御

1. 鋼塊内の硫化物形態の制御

るが、 $ACR \approx 0.4$ になると頭部偏析やV偏析を含む厚位置および逆V偏析以外はMnSが析出しなくなる。 $ACR$ が0.4を越えて増加するにつれて偏析型の硫化物形態制御が進行し、 $ACR \approx 1.8$ では

る。S は、平衡分配係数  $k_S$  が 0.02 と RE ( $k_{RE} = 0.1^{11}$ )

り高い。したがって、残溶鋼の [%RE]/[%S] の値は固相率の増加とともに減少する。それゆえ、

\*\*\*

うに、割れは伸びたMnSを伴っており、これが割れの起点となったことをうかがわせる。

ACRの異なる2種の鋼塊から偏析した板の長さ

Fig. 10のスラブでの調査結果と良く対応する。Fig. 14は[Mn]=1.2~1.9%の鋼板の試験結果であるが、[Mn]=1.0%の鋼板の場合には、ACR

誘起割れ試験結果をFig. 13に示す。ACR = 0.4

≥1.0とすればMnSによる割れを防止できること  
この結果の調査は、偏析の強さ、MnS濃度が

V偏析のある位置は特に割れが多い。

ACR=1.3にすると、鋼塊端部と底部の割れは無くなるが、偏析の強い幅の25~100%高さ位置には割れが発生する。これは、偏析部の硫化物形態制御には、他の部分より高値のACRが必要であることを示すFig. 10の結果と、非常に良く対応する。ACRを更に増して2.0にすると、偏析部

低いと異常組織の割れ感受性が低下するので、割れ防止に必要なACR値も小さくなる。

一方、試験片断面の調査結果から、実用上有害な階段状の割れは、[Mn]=1.0%のときACR ≥ 0.8, [Mn]=1.2~1.9%のときACR ≥ 1.3とすれば防止できることがわかった。

MnSによる割れを防止するに必要なACR値を、

Fig. 16 “Ca領域”と“RE領域”

Fig. 16 中矢印で示すように、硫化物の底部集積を

防止できる。耐水素誘起割れ性は、 $[\text{S}] < 0.003\%$  の

ACR ≈ 0.4では達成され、ACR ≈ 0.8で最良になる。これに対し、耐水素誘起割れ性はACR ≈ 0.8を越えても改善効果がある。このように鋼材の用途に応じて経験的に決めた ACR の適正域を(6)式によって適正なCaとSの濃度域に換算([O]<sub>0</sub> = 25ppmと仮定)してFig. 16に示す。同図でCaSの底部集積は $[\% \text{Ca}][\% \text{S}]^{0.28} \leq 1 \times 10^{-3}$ とすれば防止できる。靱性向上は $[\% \text{Ca}]/[\% \text{S}] = 0.65$ で満足

低硫鋼にする必要がある。以上の条件で決まるFig. 13中斜線域を“Ca領域”と呼ぶことにする。同様に、REとSの適正濃度域“RE領域”も本研究結果によって決めることができる。

### 5. 結 言

CaあるいはREによる硫化物形態制御を利用し

- 10) B.M.Taggev and Yu.D.Smirov : Stal', 17 (1957), 823
- 11) M.Randle and I.G.Davies : BSC Open Report, CDL/MT/15/73, (1973)
- 12) 小沢, 小口, 大井, 中井 : 鉄と鋼, 59 (1973), S59
- 13) V.G.Smith, W.A.Tiller and J.W.Rutter : Can.J.Phys., 33 (1955), 723

