

Table 2. Experimental result between temperature of cooling water and heat transfer coefficient.

Temperature of cooling water (°C)	Discharge pressure of spray (kg/cm <sup>2</sup> )			
	2.0	3.0	4.0	5.0
	Flow rate of water (l/cm <sup>2</sup> ·min)			
	0.188	0.228	0.264	0.294
20	2881 ± 128 (n=4)	3680 ± 414 (n=6)	4170 ± 407 (n=6)	4728 ± 582 (n=6)
40	2281 (n=2)	2886 (n=4)	4396 (n=5)	4487 (n=6)
50	2327 (n=2)	2591 (n=3)	3340 (n=2)	4076 (n=2)
60	—	—	3318 (n=1)	—
65	—	2952 (n=1)	—	3427 (n=3)
70	1484 (n=2)	2101 (n=4)	2774 (n=3)	3015 (n=3)
80	1363 (n=3)	1482 (n=4)	1628 (n=4)	2187 (n=4)

- ① Initial temperature of specimen: 980~1020°C
- ② Unit of heat transfer coefficient: kcal/m<sup>2</sup>·hr·deg

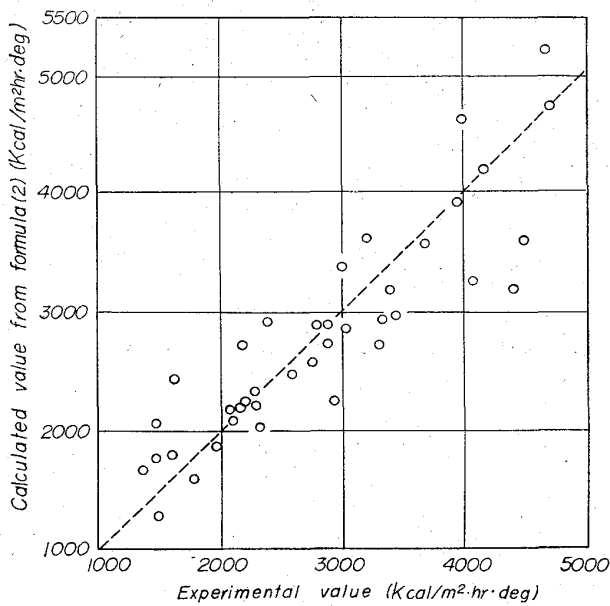


Fig. 2. Relation between experimental value and calculated value in heat transfer coefficient.

し、噴射圧で水量を制御したため、試料に衝突する水滴の速度すなわちスプレーの衝撃圧が熱伝達に影響したものと考えられる。

熱伝達率はふく射、対流および伝導伝熱のすべてを含む実用的係数である。その上、本実験においては、被冷却体（試料）の初期温度が 400°~1100°C であるため、沸騰伝熱やふく射伝熱が複雑に関係している。それゆえ、(2) 式の試料初期温度のべき 1.28 には、これらの要因がすべて含まれているわけである。

冷却水水温が上昇すると、冷却水の物性値（粘性係数、熱伝導率など）が変化し、また、飽和温度に近づくため沸騰しやすくなる。それゆえ、水温が変化すると、熱の伝達も変化する。(2) 式の水溫のべき -0.40 は、

これらの要因をすべて含んでいるわけである。

#### 4. 結 言

被冷却体に 18-8 鋼の中実円筒、冷却水に水道水の扁平スプレーを使用し、非定常状態における試料—スプレー間の平均熱伝達率を測定した結果、(2) 式に示すように、熱伝達率は冷却水水量と試料初期温度に比例し、冷却水水温に逆比例することがわかった。

#### 文 献

- 1) K. P. KOROTKOV: The Continuous Casting of Steel in Commercial Use, (1960), [Pergamon Press]

### (145) 非金属介在物に起因する 18-8 ステンレス鋼冷延板の表面キズについて

大同製鋼, 中央研究所

野崎善蔵・工博 相山太郎・O加藤剛志

On the Surface Seams Caused by Non-Metallic Inclusions in Cold Rolled Sheet of 18-8 Stainless Steel.

Zenzō NOZAKI, Dr. Tarō SUGIYAMA and Kōsi KATŌ.

#### 1. 結 言

ステンレス鋼冷間圧延板はとくにその表面性状が重視される。たとえば 18-8 ステンレス鋼の冷間圧延板などにときたま発生する圧延方向に刷毛でなでたような一種の表面キズである、いわゆる線キズは代表的欠陥の一つである。

線キズの原因は成分バランス不良にあるとも、あるいは非金属介在物であるともいわれるが、われわれが調査した限りでは線キズにはかならず介在物が存在してい

た. もちろん, 肉眼で観察される線キズは介在物そのものだけではないが, 介在物に起因することは疑いない. このような介在物が製造工程中のどこで発生し, どのようにして線キズの原因となつたが不明であつたので, 冷間圧延板の線キズの調査から始めその溶製過程へとさかのぼつて線キズの原因となるような介在物の挙動について調査した.

## 2. 18-8 ステンレス鋼冷間圧延板の線キズのミクロ的調査

### 2.1 線キズの外見

材質 SUS 27 の厚さ約 1 mm の冷間圧延板の焼鈍酸洗仕上げ面に発生した線キズの外見は圧延方向に刷毛ではいたような線状の独立したキズが並んでいる. その長さ, 巾, 鮮明度などはかならずしも一定していない.

### 2.2 線キズのミクロ的観察

線キズをかるく電解研磨 (電解液: 無水クロム酸 100 g, 磷酸 200 cc, 電圧: 12 V, 電流密度: 0.5 A/cm<sup>2</sup>, 液温: 約 70°C) 後, 観察すると, Photo. 1 のとおりであり. 写真 (a) の亀甲状模様は電解により出現した結晶粒界, 中央を上下に走る黒帯はキズ部である. (b) はこの部分を拡大したもので, 小さい介在物が比較的規則正しく並んでいる. これを電解研磨しない板の縦断面で見ると (c) のように介在物はほとんど表面近くのみ存在することがわかる. しかも薄くて板表面と平行に延ばされている.

### 2.3 線キズ中の介在物の XMA による調査

線キズのミクロ的観察により, それが介在物から構成されていることを知つたので, つぎにその組成の調査を実施した. 対象とする個々の介在物が薄くて小さいので XMA を利用しても分析技術上, 正確な組成を求めることは不可能であるので, 特徴ある元素の検出によつて介在物の特色を把握するようにした. もつとも一般的なステンレス鋼リターン溶解法, すなわち, 還元期に Si でスラグ中の Cr を還元する溶解法によつて溶製した材料から冷延仕上げされた板 (0.8~0.95 mm 厚) について調査した線キズの介在物成分は Table 1 に示す. つまり, A-1, A-2 の溶解による板の線キズの特徴はいずれも Si, Mn ないしは Ca を主成分とする微小介在物の群から構成されていることである. RE を取鍋に添加したものでは RE も介在物中に見出された. 介在物を形成する非金属元素としての P, S は検出できなかった. これらの介在物をジャックハンマーで抽出し, 電子回折により同定した結果では窒化物, 炭化物は検出できず, β-クリストバライト, Mn 酸化物などの酸化物と一部, RE を添加した A-1 に Ce の酸化物とともに硫化物を



(Vestigial section)  
a: ×12 b: ×800 c: ×120 (5/8)

Photo. 1. Non-metallic inclusions in the seams on the surface of 18-8 stainless steel sheet.

検出した. 以上の結果から溶解 A-1, および A-2 の板に発生した線キズの介在物は主要構成成分が酸化物であり, すべてが相当量の Si を含有していることから, 主成分はシリケートと考えられる.

## 3. 冷延板用 18-8 ステンレス鋼溶製過程における介在物の挙動

上述のような冷間圧延板の線キズ部に見出された介在

Table 1. XMA analysis of the non-metallic inclusions in the seams of the cold rolled sheets.

Charge No.	Added Elements (%)	Non-metallic inclusions in the seams	XMA analysis	
			Major element	Minor element
A-1	Reducing Period: Ca-Si Ladle: Ca-Si, RE, M, Mn	as Photo. 1 (b)	Si, Mn	RE, Ca
A-2	Reducing Period: Ca-Si	as Photo. 1 (b)	Si, Mn, Ca	—

Remarks: 10t basic arc furnace was used for the melting of the 18-8 stainless steels.

物が溶製のどの過程で発生したかを追求するために18-8ステンレス鋼の試験溶解を実施してその溶製過程で溶鋼試料を採取して、介在物の形状ならびにその組成について調査した。

3.1 溶製過程の介在物の観察

還元期の拡散脱酸に主として Si を利用した溶解(B)と Si の他に Ca-Si を利用し、さらに取鍋脱酸において NiMg を用いた溶解 (C) とを数チャージずつ試験した。B グループの化学成分は C: 0.05~0.08, Si: 0.48~0.79, Mn: 1.15~1.47, Ni: 8.95~9.40, Cr:

18.27~18.82%であり、C グループのそれは C: 0.05~0.08, Si: 0.52~0.85, Mn: 1.04~1.72, Ni: 9.10~9.40, Cr: 18.17~18.73% であつた。B の溶解における出鋼前、出鋼直後鍋上、ケース上部のそれぞれの溶鋼試料 (6mm 径石英管吸上) および鋼塊 (800kg 扁平型) の肩部の切取り試料について介在物 (とくに 20 $\mu$  以上の大型介在物) を調査した。各時期の平均の介在物の状況を Photo. 2 に示した。C についても各時期の介在物の形状の変化はほとんど同じ、球状のものばかりであつた。すなわち、出鋼前すでに炉内溶鋼において介在物は存在する。しかし、写真にみられるように大きさはあまり大きくない、ところが、出鋼して取鍋に入ると写真のように巨大な介在物がかなりの数出現する。これはどの溶解にも共通した現象であつた。さらに鑄型に鑄込まれた後でも、かなり大きな介在物が見られた。ただ、外観上、この時期のものはやや不透明のものが多く、取鍋以前の大部分がガラス状のものにくらべて様子が若干異なっている。また、鋼塊肩部では不透明の傾向はさらに強くなるが、大きさは平均して小さくなる。

3.2 溶製過程の介在物の組成

Photo. 2 に示すような溶製過程各時期の介在物の組成について XMA により調査した。各グループとも代表的チャージについて行ない、対象とした介在物の大きさは 20~30 $\mu$  の大型介在物である。

Table 2 からわかるように板の線キズにみられた介在物の組成と溶製過程の大型介在物 (本研究では一応、20 $\mu$  以上とした。) の組成とはほとんど同じであることがわかつた。したがつておそらく、線キズの成因は溶製過程で生成し、鋼塊に残存した大型球形介在物に基づくと考えられる。このことは冷延板製造工程の各種の厚みの段階の板で介在物の変化を調べることにより、さらに明らかになつた。これらの介在物の溶製および加工工程中の変化の様子の一例を Photo. 3 に示した。

4. 線キズ防止に関する一考察

鋼塊に残存する大型球形介在物が線キズの発生原因と考えられることを確かめたので、これを防止するには大型介在物の生成を抑制すればよいといえる。しかもこれは上述のごとく、ほとんど酸化物とみなされる。そこで B, C の各時期の溶鋼試料についてその酸素分析と 20 $\mu$  以上の大在介在物の単位面積あたりの数を調査して両者をそれぞれ、縦軸、横軸にとつてプロットした。その結果を Fig. 1 に

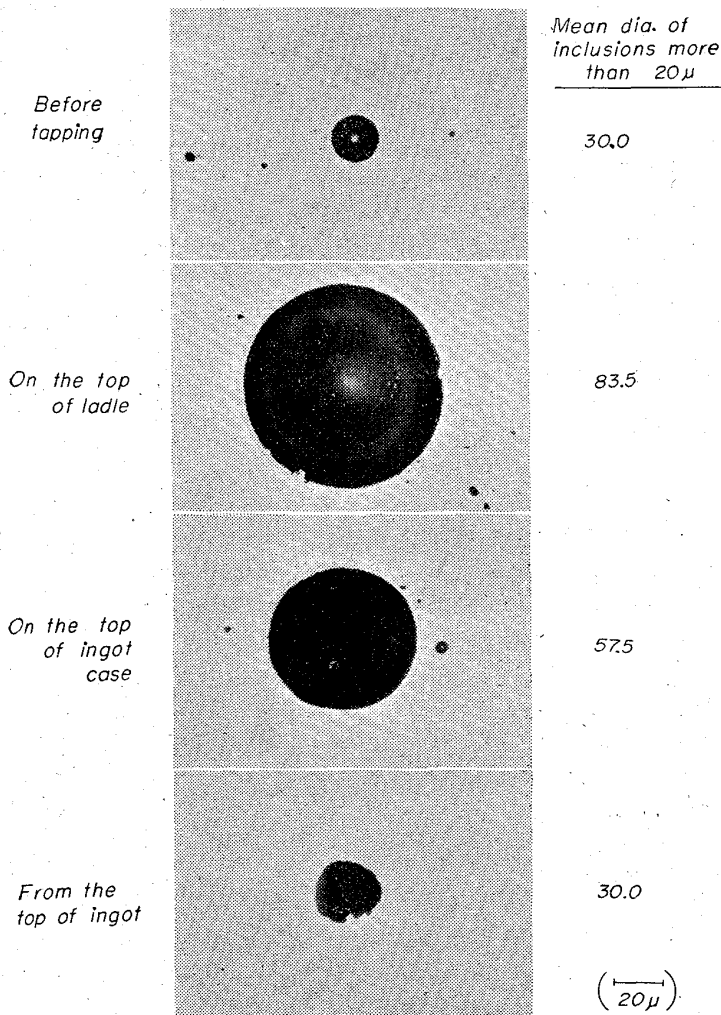


Photo. 2. Large inclusions in the melting process.

Table 2. XMA analysis of the large inclusions during melting process.

Group	XMA analysis of larger inclusions			
	Before tapping	On the top of ladle	On the top of ingot	Cold rolled sheet
B	• Mn, Si (Ca, Cr, Ti)	• Mn, Si (Ca, Cr, Ti)	• Mn, Si (Ca, Cr)	• Si, Mn, Ca
C	• Si, Ca (Mn, Fe, Ti, Cr) • Ca, Si, Mn (Fe, Cr, Ti)	• Si, Ca (Mn, Ti) • Ca, Si (Mn, Fe, Cr, Ti)	• Si, Ca, Mn (Fe, Cr) • Si, Ca, Mn (Ti)	(2 mm thickness) • Si (Mn, Fe, Cr, Al) • Si (Fe, Mn)

Remarks: ( ) means minor elements.

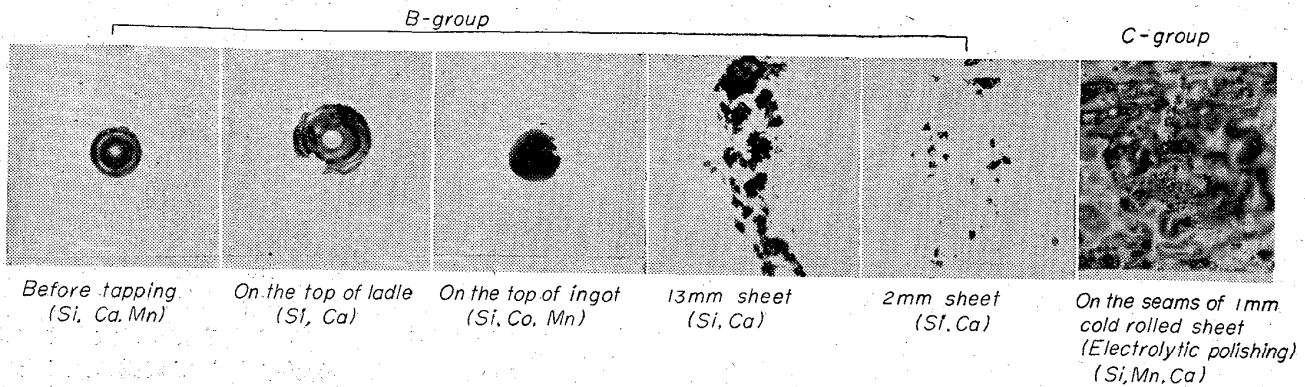


Photo. 3. Changes of larger non-metallic inclusions on the melting and working process of the stainless steel sheet.

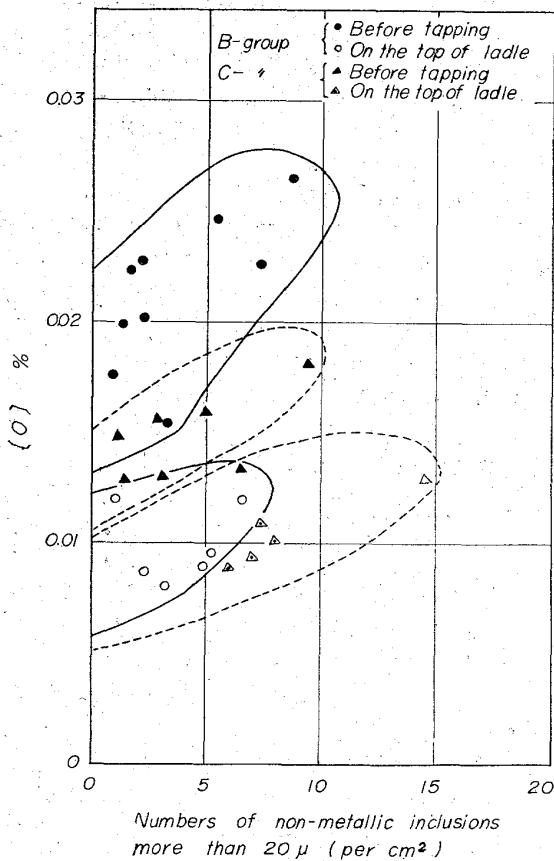


Fig. 1. The relationship between the oxygen contents and the numbers of non-metallic inclusions more than  $20\mu$ .

示す。図からわかるように両グループともに出鋼前は鍋上にくらべて全般に [O] が高いが大型介在物の数は少ない。また、さきに述べたごとく、その大きさも平均して小さい。鍋上では介在物は大きくなるが、[O] は減少する。これは小さな酸化物介在物の減少、大型介在物への成長とその一部の浮上分離で説明できる。B、C の間の相違はわずかに C の出鋼前の [O] 含有量が B のそれより低いことのみである。つまり、C の Ca-Si と Ni Mg 使用による脱酸の効果は顕著に現われていない。

もつとも注目すべきことは各時期別にどの場合にも [O] が減少すると大型介在物の数が減ることである。

しかし、介在物数ゼロのところでは [O] 含有量がゼロでないのは  $20\mu$  以下の酸化物介在物がそれだけ存在するものと考えてよからう。いずれにしても [O] をある程度減らせばどの時期についても大型介在物をゼロにできることがわかる。これが線キズ防止の原則の一つと考えられる。したがって、本研究のように Si あるいは Ca, Mg などを脱酸剤として用いるステンレス鋼リターン溶解法では溶鋼酸素量のある値以下に低下させることにより、有害な大型介在物の生成を防止できるものと考えられる。

5. 結 言

SUS 27 の冷間圧延板に発生した線キズに関して、その本質の解明、溶製過程の介在物との関連ならびに線キズの防止などについて検討し、つぎの結果を得た。

(1) 18-8 ステンレス鋼冷間圧延板の線キズは板表面近くに表面に平行に薄く引き伸ばされた細片状の介在物の集団から構成されている。

(2) 線キズの介在物は Si, Mn, Ca などを含んでおり、その主成分はシリケートと考えられる。

(3) 18-8 ステンレス鋼の溶製過程 (Si を主体とし、Ca, Mg などの脱酸剤使用) の炉内、取鍋内、鑄型内などに存在する大型球形介在物の組成は板の線キズの介在物のそれと類似しており、キズ発生の原因をなすものと考えられる。

(4) 線キズ発生の原因となる大型球形介在物を減少させるには鋼中酸素含有量のある値以下まで低下させればよい。

文 献

1) P. W. CLARK, F. C. MARTIN: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), Jan. (1965), p. 2