550°C においては Mo, W 等は添加量に比例して焼戻硬度は増加するが, V, Cb, Ti 等は減少している.

しかし V, Cb 等は 0·2～0·3% 附近で非常に高い焼戻硬度を有することは注目すべきことである.

一方 Mo は W より 550°C の焼戻に対してはより有効である.

600°C においては 550°C と大体同じ傾向にあるがMoとWは焼戻に対しては同じ程度の効果がある.

650°C においては Mo, W 等は添加量が増加すれば焼戻硬度が増加するがWの方が Mo より有効である点は 550°C と異なる. V, Cb 等は 550°C における如く 0·2～0·3% 程度添加してもあまり有効に作用せず, かつ添加量を多くしても焼戻硬度は高くならない.

700°C, 750°C においては W, Mo 等がよく, V, Cb, Ti 等がこれについでよい. 特にWは 700～750°C 附近では有効である.

IV. 結　　言

以上の実験結果から要約すると次のようである.

(1) Mo, Cb, W, V, Ti 等を含有する 12% Cr 系耐熱鋼は焼入温度を高くすることにより焼戻硬度を高くすることができ, クリープ強さを高めることができる.

(2) 1150°C から焼入したものを 650°C で焼戻を行つたものは 650°C で焼戻を行う前に 700°C で 1h 焼戻を行つたものより 1000h 後の焼戻硬度はやや低くなる.

(3) 550°C 附近の焼戻硬度は 1～2% の Mo, W 等を含有するものが高く Mo の方がWより有効である. V, Cb 等は 0·2～0·3% 程度含有するものがよい. 焼戻温度が 650°C になれば 550°C 附近と大体同じであるが, Wの方が Mo より焼戻に対しより有効になる. 更に焼戻温度が高くなるとWを添加した場合が最もよく Mo, V, Cb, Ti の順になる.

(4) Cb, Ti 等を多量添加したものは強固な炭化物を作る上に, δ フェライトがでやすくなるため, 焼入硬度が低く, 従つて焼戻硬度も低いがこれ等の炭化物を十分固溶させれば焼戻硬度が低くてもクリープ強さはよくなる.

(5) これ等の結果から 12% Cr 系耐熱鋼の焼入温度は 1150°C～1200°C 附近, 焼戻温度は 650°C～700°C 附近が最適と考える.

文　　献

1) 芥川 武, 藤田利男, 竹村数男: 鉄と鋼, 41 年 (1955) 第9号, 986～988

2) 藤田利夫, 竹村数男, 清水貞一: 〃 41 年 (1955) 第9号, 988～990

(125) 18 Cr-8 Ni-Ti 不銹鋼の砂疵の研究

(Studies on the Heavy Inclusion of 18 Cr-8 Ni-Ti Stainless Steel.)

Toyosuke Tanoue, et alius

住友金属工業株式会社鋼管製造所

工○田 上 豊 助

松 葉 宗 三

I. 緒　　言

18 Cr-8 Ni-Ti 不銹鋼は他の不銹鋼や低合金鋼には見られない巨大な砂疵が発生し易いことが知られており, これが製造上, 解決すべき最も重要な課題である,

発生する砂疵の大部分は顕微鏡にて観察すれば黄白色の微細な結晶質の集合体で, 固体として熔融鋼中に生成したことが形態上から推察される. なお一部には融体として熔鋼中に存在したと思われる黒色の巨大な介在物も観察される. 鋼塊位置による発生傾向は鋼塊の上部外周部に多く, 従つて凝固中, 凝集浮上しつつある介在物が鋼塊中に残留し, 砂疵として肉眼的に認められるものと考えられる.

かかる砂疵は Ti を含まぬ 18 Cr-8 Ni 不銹鋼には殆んど見られないことから, Ti の反応生成物であるものと推定される. Ti は O_2 や N_2 と親和力が極めて大であり, Ti 入り不銹鋼は Ti を含まぬ不銹鋼に比して O_2 や N_2 が低い点より, Ti の oxide または nitride の巨大凝集体が砂疵であろうと考えられたのでまず砂疵の主因が oxide によるものか, または nitride によるものかを確かめるため下記の実験を行つた.

II. 実　　験 (1)

砂疵の大部分が oxide であるか否かを確めるため, 50 kg 塩基性高周波炉で, 添加チタンの材質, チタン添加前の脱酸条件, チタンの添加量を種々変えた 14 種の鋼塊を熔製し, 表面を旋削して疵の発生量を観察した. 各鋼塊の熔製結果および疵の発生程度を Table 1 (表省略, 会場で掲示) に示す.

A1～A5 は主として添加チタンの種類を変えたもの, A6～A11 はチタン添加前に Al, Ca-Si または Lan Cer Amp を加えて脱酸したもの, A12～A14 は添加

チタン量を減じたものである．砂疵の発生量を見るに，添加チタンの材質の影響やチタン添加前の脱酸条件の影響については殆んど差は認められなかつた．Ti の含有量の低い A12～A14 が砂疵の発生量が少なかつた．チタン添加前に強力脱酸剤で脱酸した鋼塊にも多数の砂疵の発生が見られたことから大多数の砂疵の主成分は Ti の酸化物ではないものと考えられる．

III. 実　　験　(2)

次に砂疵の大多数が主として Ti の nitride より成るものではないかという点を確めるため 35KVA 実験用高周波電気炉により Ti および N_2 含有量を種々変えた 20 種の 3kg 鋼塊を熔製した．N_2 の含有量を変えるためには窒化クロム (約 6%N_2) を使用した．各鋼塊の成分および疵の発生程度を Table 2 (表省略会場で掲示) に示す．

B1～B10 の鋼塊はチタンの添加量を順次増加したものでC1～C5，およびC6～C10 の鋼塊は夫々チタンの添加量を一定として窒化クロムの添加量を順次増加したものである．砂疵の発生程度を示すA，B，C，D，E は疵の発生程度を少いものから多いものへ5段階に分類し，5名の判定者により観察した結果を表わすものである．B1～B10 の鋼塊について見るに Ti 含有量の多い鋼塊程，砂疵が多い傾向が見られ，C1～C10 の N_2 含有量の異なる鋼塊では N_2 が高い鋼塊程砂疵が多い傾向が見られた．Fig. 1 に N_2 および Ti 含有量と砂疵品位との関係を示す．N_2 および Ti 含有量の多い鋼塊程砂疵が多い傾向が認められる点より Ti の nitride が砂疵の主要成分ではないかと考えられる．

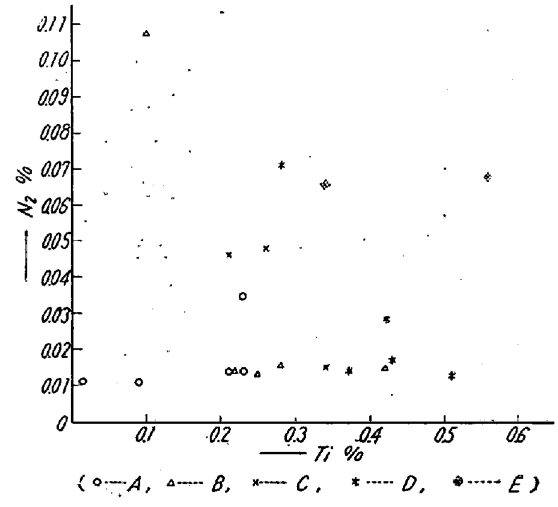

Fig. 1. The influence of the Ti and N_2 content for formation of the heavy inclusion in the 18% Cr-8% Ni-Ti stainless steel ingot.

IV. 実　　験　(3)

大多数の砂疵が Ti nitride の集合体であるとすれば鋼塊中で Ti および N_2 が著しく偏析していることが予想される．この点を明らかにするため，1t 高周波電気炉で熔製した 1t 鋼塊を縦断して非金属介在物および Ti，N_2 の分布を調査した．倍率400倍で学振法の清浄度検査に準じて測定したB型介在物の清浄度および Ti，N_2 の鋼塊中の分布を Fig. 2 に示す．図に見られる如く，砂疵の多い鋼塊上部の外殻部B型介在物，Ti および N_2 が著しく偏析していることが認められる．Ti の中，HCl に溶解する soluble Ti は殆んど偏析なく unsoluble Ti が偏析している．

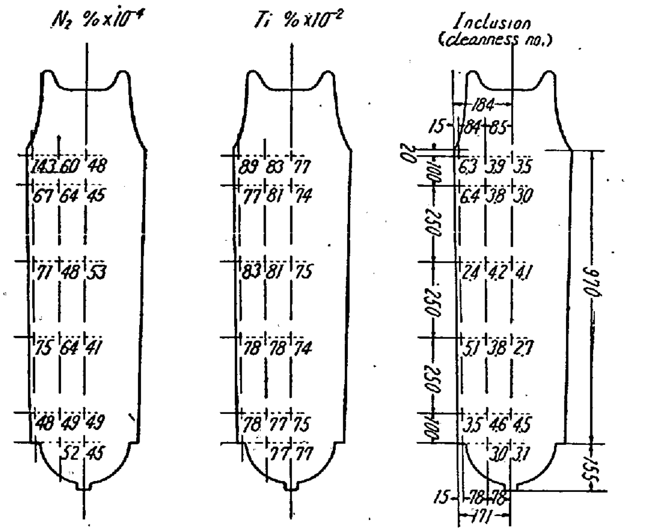

Fig. 2. The segregation of Ti, N_2 and inclusion in the 1 ton ingot of 18% Cr-8% Ni-Ti stainless steel.

また，別の熔解の丸鋼について，鋼塊の top, middle, bottom に相当する位置別に丸鋼表皮の Ti，N_2，C，O_2 の偏析を調査した結果を Table 3 に示す．この場合も鋼塊の頭部外殻部に相当する位置に Ti および N_2 の著しい偏析が認められた．

Table 3. The segregation of Ti, N_2, C and O_2 in the billet of 18% Cr-8% Ni-Ti stainless steel.

		Top	Middle	Bottom
Ti	Total	0·36	0·25	0·28
	soluble	0·16	0·16	0·16
	unsoluble	0·20	0·09	0·12
N_2		0·0339	0·0179	0·0177
C		0·05	0·05	0·05
O_2		0·047	0·0037	0·0035

以上の実験結果により，チタンの添加により生じた Ti nitride が鋼塊の凝固中に凝集浮上し一部凝固鋼塊中に残留したものが砂疵として認められるものと考えられる．

V. 実　験（4）

以上の実験は砂疵の大部を占むる黄白色結晶質の集合体より成る砂疵を対象としたものであるが，なお一部には熔鋼中で融体として存在したと見られる黒色の砂疵も存在する．この種の砂疵は酸性炉製の鋼塊に多いこと，また，Ti 不銹鋼の熔鋼，熔滓は珪石分の多い取鍋煉瓦，湯道煉瓦等を著しく浸蝕することから，熔鋼，耐火物間の反応生成分ではないかと考えられる．

シャモット，蠟石，高アルミナおよび ALMA (Al_2O_3-MgO 系）の 4 種の煉瓦の浸漬試験を行つた結果，シャモットおよび蠟石は熔鋼に浸蝕され，熔鋼の Si 含有量は増加することが認められた．

従つて，$(SiO_2)+[Ti]\rightarrow[Si]+(TiO_2)$ なる反応により TiO_2 を生じ，それが鋼塊中に混入して砂疵となることが考えられる．

VI. 結　論

18 Cr-8 Ni-Ti 不銹鋼に発生する砂疵の生因を明らかにするため，脱酸条件，Ti および N_2 量の検討，鋼塊および丸鋼の偏析調査，熔鋼と耐火物との接触試験を行つた．その結果，Ti または N_2 の多い鋼塊程，砂疵の発生量は多く，砂疵の発生し易い鋼塊上部の外殻部には Ti と N_2 が著しく偏析していることを認めた．従つて，砂疵は主として Ti の nitride より成るものと考えられる．また，かかる鋼種においては熔鋼，耐火物間の反応生成物も砂疵となる可能性が強いことが考えられる．砂疵の防止対策として，できるだけ C 含有量を下げてチタンの添加量を少くすること．クロム配合量をできるだけ下げるか，熔解時空気との接触を少くして熔鋼中の N_2 の上昇を抑えること．上注直注等を採用して耐火物との接触の機会を少くすること．SiO_2 等還元され易い成分の少い耐火物を使用すること等が考えられる．

(126) 不銹鋼の表面硬化に関する研究 (I)

(13% Cr 不銹鋼の高周波焼入とその応用)

Study on the Case Hardening of Stainless Steels (I)

(Induction Hardening of 13% Cr Steel and its Application)

Takao Takase, et alius.

大阪府工業奨励館　工博○高　瀬　孝　夫

浅　村　　均

不銹鋼には Austenite 系と Martensite 系があり，前者の代表的のものは 18-8 不銹鋼であり，後者は 13% Cr 不銹鋼である．前者の表面硬化法としては主として窒化法が実用化されているが硬化深さが浅い．後者はそのままで焼入硬化されるので高周波焼入により任意の深さに，しかも相当深く硬化できる．最近高温高圧蒸気弁の温度，圧力が大きくなり船用機関は 40 kg/cm², 450°C が標準となりつつある．従つてこれに使用する valve seat は stelite 合金の如き Co を多く含んだ高価な合金等が使用され高温での耐磨耗性を保持している．

筆者等は 13% Cr 不銹鋼の高周波焼入についてその焼入硬度焼戻硬度，および高温硬度等について研究を続け，その硬度が 500°C 附近までは余り低下せず安全である事から，これを船用蒸気弁の valve seat に応用し好成績を得るだろうと考え実用に必要な基礎研究，および実用試験を川崎重工業株式会社その他と共同研究を行い有望な結果を得た．

使用材料は C 0·16%, Cr 12·65% (JIS SUS 2) を用い，まず高周波焼入硬度と焼戻硬度，温度および時間の影響，この鋼種に対する標準焼入試験 (salt-bath を使用），および高温硬度試験を行つた．

I. 基礎的研究結果

（1） 高周波焼入硬度は焼入前の Vickers hardness (V_H) 250 より 550 に上昇する．顕微鏡組織は極めて微細である．

（2） 焼戻しによる常温における硬度は 550°C までは漸次減少するが余り大差ない．

即ち V_H 550 附近から 430 附近（1 時間加熱）に下る．

（3） 500°C で 200 h，焼戻しすると V_H 350 (200 h) に下る．

（4） 最適焼入温度は 900～1000°C．（高周波焼入は短時間加熱故加熱温度が高くてもその影響が少ない）

（5） 繰返し加熱冷却による高温硬度は 500°C 附近では余り低下しない．550°C で低下し始める．

常温硬度 Rc 40 以上のものが，500°C で 30～32，550°C 16～18．

II. 実用蒸気弁試験