

# 13% Cr 鋼 の 鑄 造

清 野 信 二\*

## Casting of 13% Cr Steel

By Nobuji Kiyono

Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

The 13% Cr casting steel features a high resistance against erosion and wear caused in water flow service. Therefore, this steel is finding a wide field of application as the material for waterwheel parts of small size, and recently its use is even extending to large-sized ones. And the wider becomes the application field the higher grade of casting skill becomes the essential factor for the success of the work.

This class of steel characterizes among others:

- (1) Stronger penetrability of the melt into details of casting mold.
- (2) Oxide film mingled in casting is liable to cause defects of the product.
- (3) High sensitivity to the growth of pinholes in steel structure.
- (4) Condition under which the shrinkage cavity is produced is essentially different from that of ordinary steel.

In order to eliminate these shortcomings and to produce a wholesome product, it is imperative to make best of a special molding and casting technique. Out of prolonged study and experience, the writer has gathered several facts and methods that are useful for the production of good castings as revealed in the article, some of which may be summarized as follows:

- (1) Application of a special sort of coating on the mold surface prevents the penetration of melt into mold structure, and yields a better result.
- (2) Oxide film mixing into the melt can be precluded by expediting the pouring speed of melt and the use of a certain type of pouring spout.
- (3) Special care must be exercised in drying of mold and the melt must be degassed sufficiently.
- (4) To determine the position of riser, the position of pouring spout and dimensions, the difference of the shape and thickness of castings should be taken in consideration.

These notices followed, the 13% Cr steel casting can display its merits to full extent, the writer stresses in the article.

\* 日立製作所日立工場



## 〔I〕 緒 言

13% Cr 鋼は不銹鋼として従来から精油、化学工業方面に広範囲に利用されているが近年水力発電方面に多量に使用されてきた。この鋼種は戦前から研究され実用化されてはいるが戦後の進歩は一段と活発になつた。

13% Cr 鋼がこの方面に利用されるのは含砂流水に対しての磨耗及び腐蝕に抵抗する性質が強いという特長を持つほか、機械的性質がすぐれており切削性も良好で高速度鋼で十分加工できる利点を有するため、最近では水車の主要部品としてさらに広範囲に活用されつゝある。

しかしながらその鑄造方案及び鑄込法には幾多の難点があり特に水車部品のような大物品ではその困難も一層増加する。われわれは昭和13年初めて13% Cr 不銹鑄鋼の製造に着手して以来、多年にわたる実際作業の経験と不断の実験研究の結果各種の難点を克服して、本不銹鋼の大物品鑄造に続々成果を挙げておるので、こゝにその経過を報告して御参考に供したいと思う。

## 〔II〕 熔鋼の浸透

熔鋼が鑄型へ浸透する機構に就いては種々の説がなされているが、その主なものを次にあげる。

Dirker, Goodale 両氏のいわゆる「鉄硅酸塩浸透説<sup>(1)</sup>」(The ferrous silicate penetration theory)によれば、熔鋼と鑄型の空隙部にある空気とが反応して最初に酸化鉄ができる。この酸化鉄と硅砂とが反応して熔融状態の鉄硅酸塩ができる。これの熔融点が高いので焼付きの原因となると述べている。また Caine<sup>(2)</sup>によればつき固めた砂粒間の空隙に熔鋼が圧力によつて機械的にさし込んで焼付きを起すのが大部分で、その他に砂型の細粒の一部分が熔融して空隙が拡がりこの空隙に熔鋼が浸透する場合もあると述べている。これ以外に鑄型の表面に割れ目などがあればそこから熔鋼がさしこみ焼付きの原因となる。これは Woodliff<sup>(3)</sup>の実験に示されているように肌砂の粒度を余りそろえすぎると鑄型が割れ易くなり従つて浸透が多くなると報告している。

これらのことから熔鋼が鑄型へ浸透を起しやすい条件として考えられる点をあげると

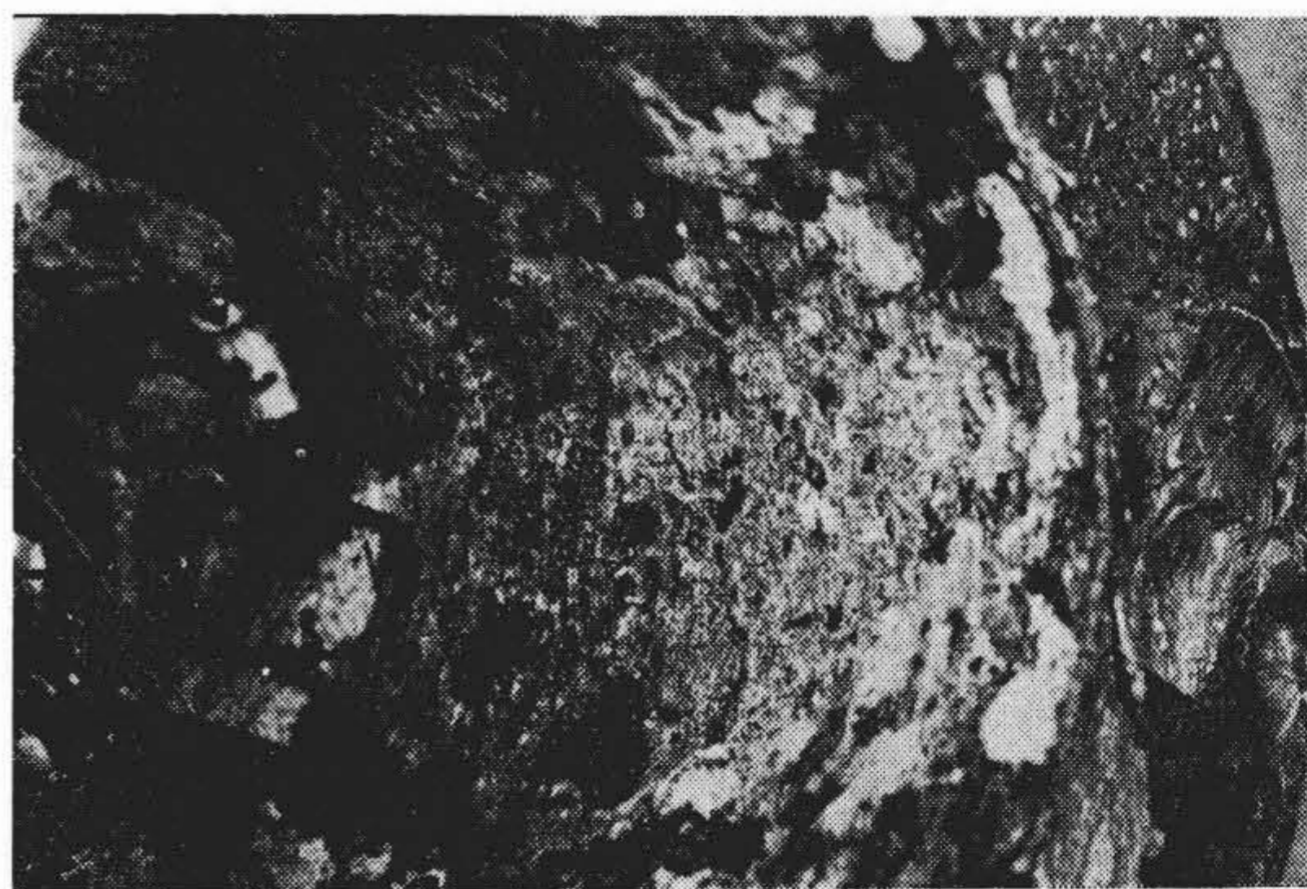
- (1) 肌砂に不純物が多く含まれて耐火度が低下したとき
- (2) 砂型のつき固め度が低くまた鑄型の硬さにむらがあるとき
- (3) 肌砂の硅砂の粒度分布が狭すぎた場合
- (4) 鑄込温度が高過ぎるとき
- (5) 凝固温度区間の長い材質
- (6) 鑄物の形状が大きくまた肉厚が大なるとき

第1表 鑄込温度と凝固温度区間

Table 1. Pouring Temperature and Solidification Range

	普通鋼 (C=0.20)	13% Cr 鋼 (C=0.15)
鑄込温度	1,555~1,560°C*	1,560~1,563°C*
液線温度	1,518°C†	1,502°C†
固線温度	1,490°C‡	1,438°C‡
凝固区間	≒28°C	≒64°C

(註) \*実測値 †計算値 ‡状態図からの推定値



第1図 肉厚部の焼付き  
Fig.1. Penetration on Heavy Section of 13% Cr Steel

さらに13% Cr 鋼が普通鑄鋼に比べて特に鑄型への浸透が激しいのは次に挙げる点が主要原因と考えられる。

- (1) 鑄込温度が高くまた凝固区間が長い

13% Cr の熔鋼は流動性が非常に悪いので鑄込温度を高くしなければならないことゝ凝固区間がきわめて長い(第1表参照)ために浸透を起す機会がはなはだ大きい。

- (2) 酸性耐火物を浸し易い

13% Cr 鑄鋼が硅砂系統の鑄型を浸蝕する原因は明確に解明されていないが、実際には普通鑄鋼の場合よりもずっと激しく浸蝕する。第1図はカプラン型水車ランナーボス内面の砂の焼付きを示したものである。

このような砂への浸透を防止するための対策としては、

- (a) 肌砂に使用する砂は純度の高いものを選び、粘結剤としての耐火粘土もまた良質のものをを用い熔融による浸透を防ぐ
- (b) 肌砂のつき固めを十分にして硬度むらを防ぐとともに特に大型、肉厚物に対しては鑄型の構造を嚴重にして熔鋼の圧力による機械的の浸透を防ぐ
- (c) 鑄型表面の塗物は硅石系のものをやめて中性のクローム煉瓦を微細に粉碎したものを肉厚に応じて



第 2 表 塗方用クロム煉瓦の成分

Table 2. Composition of Cr-brick Used for Coating

成 分	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
(%)	12.32	19.82	17.50	20.72	27.97

厚目に塗布し、注湯後はこの塗物の焼結による強力な被膜を作つて浸透を防ぐ

特に表面塗料の成否がこの場合の最重点となるもので、これに対する研究は一段と進められているが、現在使用しているクロム煉瓦の成分の 1 例を第 2 表に示す。

### 〔III〕 酸化膜の混入

鋼塊の表面疵の一つにいわゆる“Mattschweisse”<sup>(4)</sup> というのがある。これは鋼塊を上注ぎしても下注ぎしてもおきるが、特に下注ぎでは最初に注入した鋼が低温となるために非常に速く金型壁に沿つて凝固しその上に次の熔鋼がこの凝固膜を溶かさずに固まる。この現象が繰り返されてきたない鋼塊表面ができる。

これと同様なことは普通鋼を砂型に鑄込む場合にも勿論成立することで、最初に湯道を通つて型内に流入した湯は温度が下り表面には酸化膜が一面に張り、これを突き破つて次の湯が入つて行くことになる。このときに酸化膜は型の表面に押しつけられるが一部は鑄物の内部に混入する。この混入したものは熔鋼の温度が高いときには再溶解されるが、低いときはその儘の形で介在することになりこれが鑄物の欠陥となつて残る。

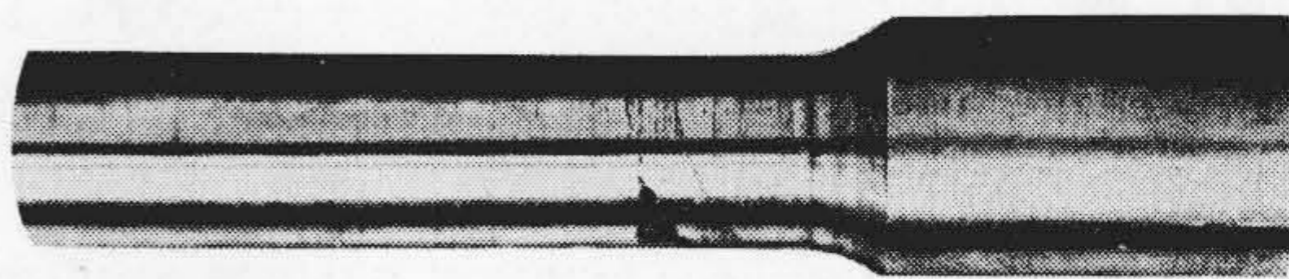
このように鑄物の内部に酸化膜を混入させる原因となるものは

- (1) 鑄込温度が低いとき
- (2) 鑄型内の湯上り速度が遅いとき
- (3) 鑄型が大きいかまたは形状が複雑で鑄込途中で湯が疲れたとき

などで特に 13% Cr 鑄鋼は普通鋼に比較して酸化膜混入を生ずる危険性がいつそう多い。この理由として考えられるものは

- (1) 13% Cr の熔鋼の特性として酸化膜が張りやすくまた流動性が非常に悪い
- (2) 13% Cr の熔鋼表面にできる酸化膜には Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が多量に含まれているが、この融点が高いため再溶解は期待できない。

従つて本鋼の酸化膜混入による事故は大物品になる程多く発生してくる。第 2 図は酸化膜混入による湯境い及びガス巣(後述)の状況を示す。



第 2 図 湯境いとガス巣

Fig. 2. Scars and Gas Holes

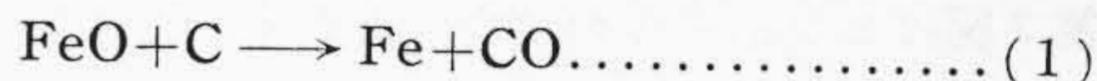
本鋼種に特に発生しやすい酸化膜混入を防止するための対策としては、

- (1) 注湯温度をあげて熔鋼の流動性を良くして鑄込む
- (2) 湯面の酸化反応を阻止するために鑄型内に窒素その他の中性または還元性のガスを吹き込んでおいてから鑄込む
- (3) 湯口の形状、寸法を適切にして鑄込速度を極力あげる
- (4) 熔鋼自体に酸化膜の生成を抑制するような成分的処置をする

などであるが、これと同時に欠点も(たとえば鑄込温度をあげ過ぎるとひけ、われが多くなる)勿論あるので実際作業に於ては製品の形状、重量に応じてその都度詳細な鑄造方案をきめる必要がある。

### 〔IV〕 ピンホール

ピンホール発生の機構としては、熔鋼中で



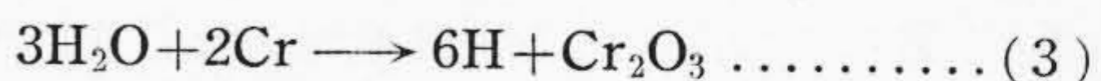
の反応による CO ガスによる場合が多いとされているがこの他に H<sub>2</sub> が原因となる場合も重要視しなければならない。

Sims 及び Zapffe によるピンホール発生の理論<sup>(5)</sup>によれば熔鋼が冷えた鑄型に接すると表面に薄皮ができそれと同時に鑄型の内にある水分が蒸気になり容積は急激に膨脹する。この蒸気の一部は砂型から逃げるが若干は熔鋼に入つて次の反応を起す。



熔鋼温度の高い間はこの H の溶解度は大きい冷却するにつれて H<sub>2</sub> となり結晶間に凝集してピンホールとして存在するにたとになると述べている。

13% Cr 鋼の場合は(2)式の反応と同時に



が考えられる。そしてこの反応の方が(2)式よりも激しいから従つてピンホール発生の危険性はより多いといえる。

次にピンホール発生の原因として考えられる点をあげると、

- (1) 鑄型の乾燥が不十分のとき
- (2) 熔鋼のガス含有量が多いとき



(3) 鑄込途中で熔鋼表面の薄皮を巻き込みやすいような複雑な形状のものまたは湯口の付け方が不適当なために同様の危険のある場合

(4) 鑄込速度が遅いため鑄型表面が熔鋼の輻射熱によつて急激に膨脹を起して割れ目を生じ鑄型内部の水分が熔鋼と反応するような危険性の生じたときなどである。13% Cr 鋼が特にピンホールを生じやすいのは次のような性質によると考えられる。

#### (1) 鑄型の水分と反応しやすい

前に述べたように(3)式の方が(2)式よりも反応が激しいために鑄型の乾燥程度が少しでも悪いとすぐにピンホールを発生する。また乾燥が十分でも鑄込迄放置する時間が長すぎるとやはりピンホール発生の原因となる。

#### (2) 熔鋼のガス含有量が多い

普通鋼に比べて高温熔解が必要で、しかもその時間が長いこと及び還元期に添加する多量の Fe-Cr その他の合金鉄に脱ガス処理を施してもなお熔鋼の含有ガス量が増加する傾向にある。

#### (3) 流動性が悪い

鑄込途中熔鋼の表面に生ずる薄皮によつて流動性が悪くなる(13% Cr 鋼の場合は Cr の炭化物のためにこの流動性を阻害する度合がより多いと考えられている)ためにこの薄皮が熔鋼中に巻き込まれて(1)式の反応を起す機会が多くなる。

第3図はピンホールの例を示したものである。このピンホールは砂落し直後の黒皮面では発見できず、熱処理によるスケールを落したあとの面に生ずる場合が多く13% Cr 鑄鋼の困難な一面は実にここにある。

ピンホールを防止する具体策としては

(1) 酸化熔練を十分行い水素その他の脱ガスに努める

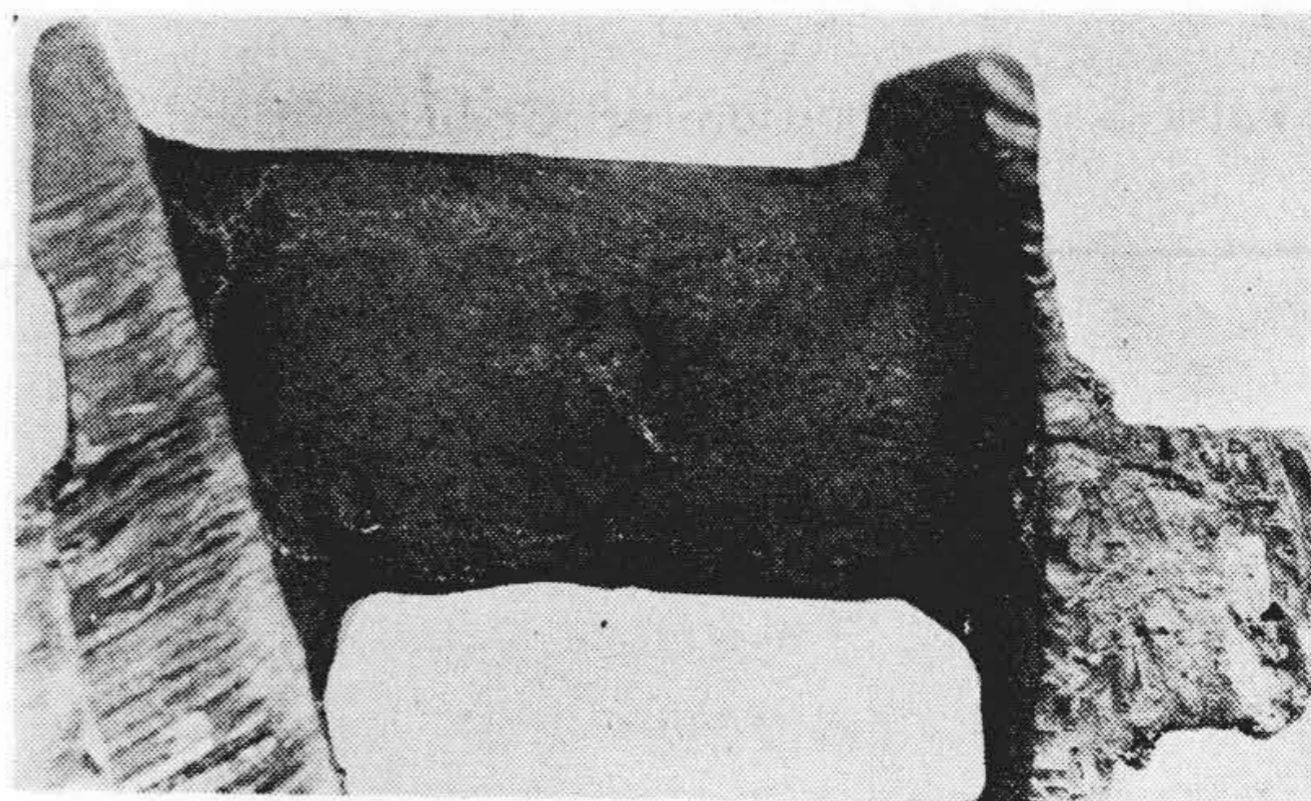
(2) 精練作業中に水素の入る機会をできるだけ防ぐために合金鉄の脱ガス処理、煤熔剤の乾燥脱湿を十分にする

(3) 鑄型の乾燥は特に注意し、乾燥後鑄込迄の時間を適切にすること

(4) 鑄込速度をあげると同時に型内の湯流れ経路を適切にする

(5) 最初に型内に入る湯は低温となりまたガスその他の不純物を混入する機会が多いのでこの部分の湯は製品に残らないようにする

以上の対策を十分に施してもなお大物でしかも平面部(鑄込時に水平となる面)の多い製品には時としてピンホールによる事故を起すことがある。従つて熔解、鑄型乾燥に就いては特に長年の経験と熟練を基にして規格化された作業と細心の注意とが必要である。



第3図 黒皮面のピンホール

Fig. 3. Pin Holes on as-cast Surface

## [V] ひけ巣

鋼鑄物それ自身が他の金属よりも収縮は大きい、13% Cr 鋼はさらに次のような理由で収縮が大きくなりまた押湯、冷金などが効きにくい状態にある。すなわち

#### (1) 鑄込から凝固開始までの間の液体収縮が多い

Thum<sup>(6)</sup>によれば13% Cr 鑄鋼の特性として流動性が悪いためにどうしても鑄込温度を高くしなければならないとしている。だしひけ巣の大小に関係する要素としては鑄込温度の高低よりも鑄込温度と凝固温度との差の大小が直接影響すると見るべきで文献<sup>(7)(8)</sup>によれば普通鋼と13% Cr 鋼との凝固開始温度の差は約15°Cあり、また鑄込温度は工場によつてちがうが13% Cr 鋼の方が約5~10°C高い。このため20~25°Cに対応するだけの液体収縮量が増加することになる。

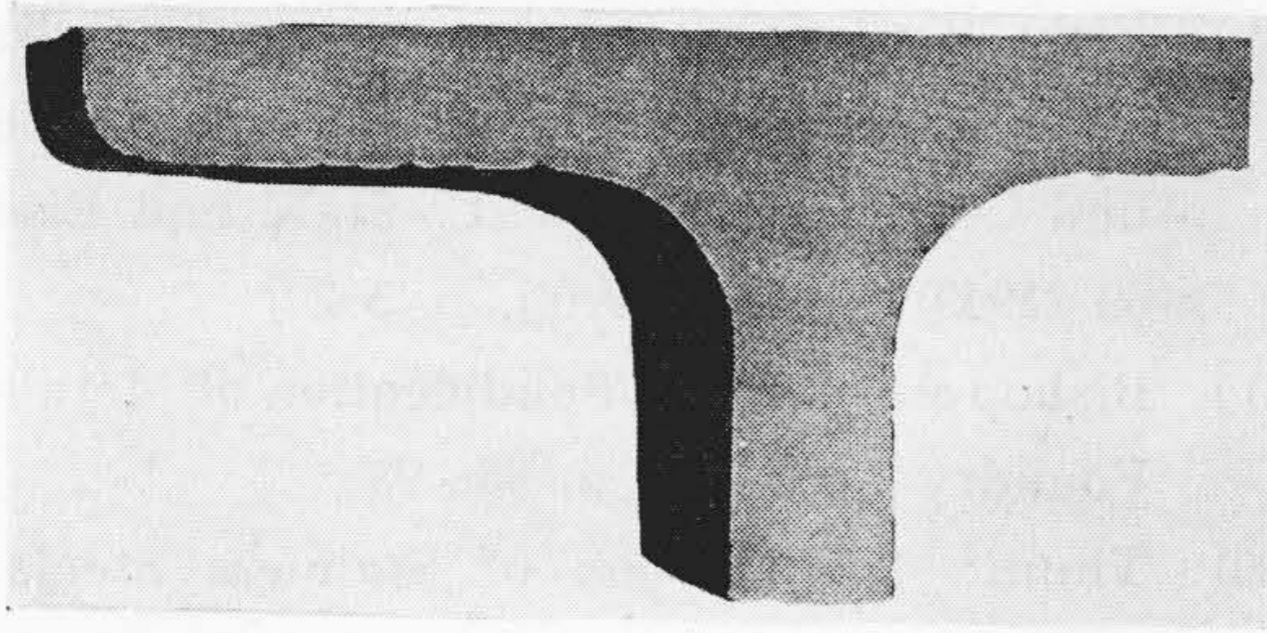
#### (2) 凝固温度区間が長い間凝固開始から完了までの収縮が多い

液相線と固相線との温度差は普通鋼(C≒0.20)では約25~30°Cであるが、13% Cr 鋼では約60°Cもあり、このための収縮量の増加も問題となる。

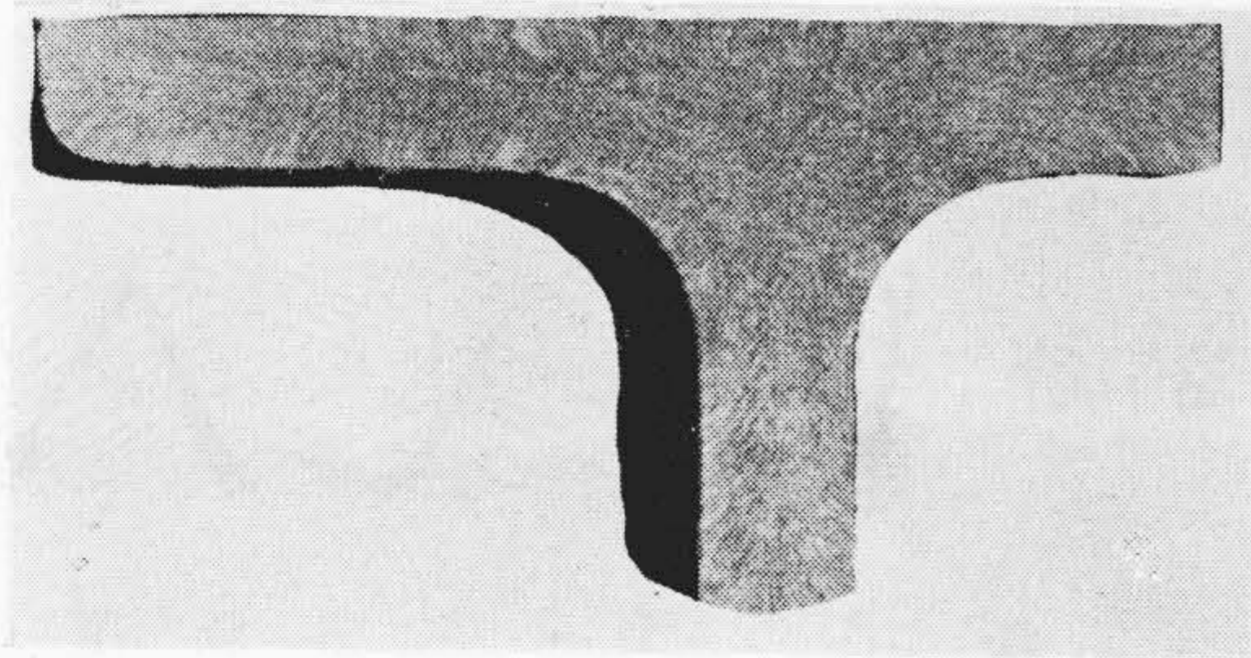
一般に押湯は(1)の収縮に対しては熔鋼の補給は効きやすいが(2)の収縮に対しては、熔鋼の粘性が増加するために効きにくいことは明かで特に肉の厚い鑄物においては柱状晶層の粗大化と相俟つてますます押湯の効果を減殺する。第4図は肉厚60mmのT型の断面を持つた鑄型に13% Cr 鋼と普通鑄鋼(C≒0.20)を鑄造したものの断面のマクロ組織である。鑄造条件はほとんど同じであるにもかかわらず13% Cr 鋼の方の樹状晶は極めて粗大である。この性質は Bishop and Pellini<sup>(9)</sup>の実験によつても明かなように押湯が効きにくく、そのためにひけ巣が出やすいことを示している。

このように13% Cr 鑄鋼のひけ巣に対しては押湯に多く期待できないと同時に冷金もまた必ずしも有効ではない<sup>(10)</sup>。





第4図(a) 普通鑄鋼のマクロ組織  
Fig. 4. (a) Macro-Structure of Plain Carbon Steel Casting



第4図(b) 13% Cr 鑄鋼のマクロ組織  
Fig. 4. (b) Macro-Structure of 13% Cr Steel Casting

現場作業に於て鑄造方案をたてるときには上記のような特性を十分に知つて処置しないと、思わぬ失敗をまねく場合が多い。

ひげ巣防止対策としては、

(1) 製品の形状を十分検討する

木型作業着手前に現図を引いてひげ巣発生の危険性のある部分は設計変更するかまたは仕上代、駄肉のつけ方などを有効に活用して押湯の効果をあげるようにする。

(2) 温度勾配を順当にする

大物品では特に湯口のつけ方、ストップ開放の順序を考えて温度勾配を順当にするように計画する。

(3) 押湯の形状を適正にする

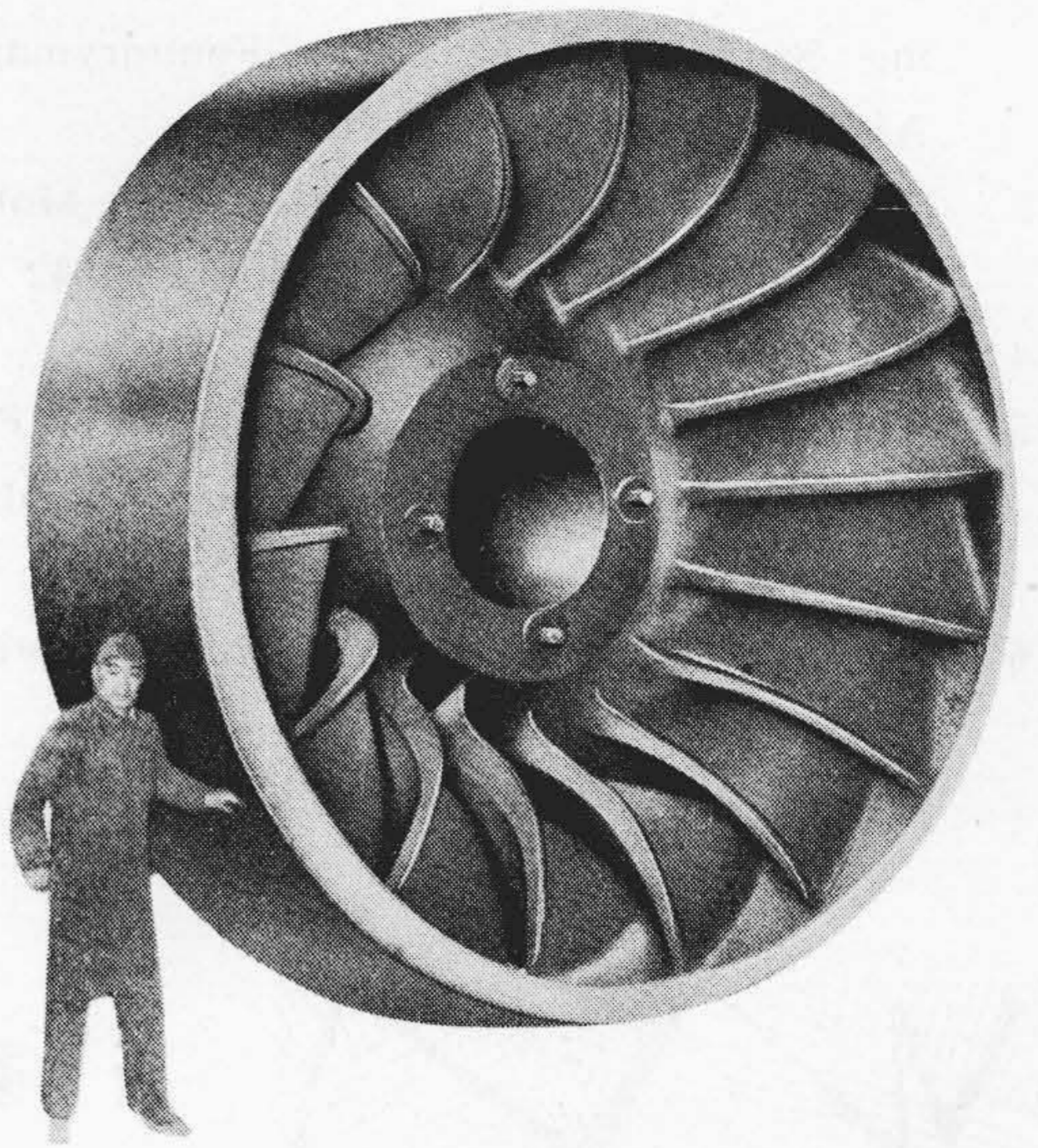
熔鋼の特性で押湯比(押湯重量:鑄放重量)は大とならざるをえないが、たゞ押湯を大きくするだけでは歩留を低下し欠陥もこれに伴つて起きるから押湯方案の決定には高度の熟練を要する。Feedex, Ferrux (ともに商品名 Al, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を主とした発熱剤) の利用, Hot top 方式の採用などもまた有効な手段である。

## [VI] 結 言

13% Cr 鑄鋼の鑄造上の特性ならびにその実際作業に就いて述べたがこれを要約すれば、

(1) 鑄造しやすい形状の設計をする

機械の性能を阻害せず、しかも鑄造しやすい形状に設



第5図 13% Cr 製大型フランシスランナー  
Fig. 5. Large Francis Runner of 13% Cr Steel

計するためには絶えず設計技術者と鑄造技術者との連絡が必要である。完全な鑄鋼品は設計と鑄造工場との緊密な協力なくしては得られない<sup>(11)</sup>。

(2) 基礎研究結果を現場技術へ応用する

研究所に於ては冶金関係の基礎研究を行いその成果を現場に移し、現場ではこの研究結果と永年の技術的経験とを総合して作業の改善を計る。製品に就いては超音波、X線、磁気試験など厳密な非破壊試験を施すとともに、研究所水力実験室に於て腐蝕試験、磨耗試験などあらゆる実用試験を施して材料の適格性を確認することが必要である。

第5図に示すフランシス型水車ランナーは直径 3,500 mm, 鑄放し重量 38t の 13% Cr 製不銹鑄鋼の大物品の一例である。このように複雑した大物品になると鑄造上の困難性はますます増大し、特に水車の性能を左右する羽根面の寸法及び鑄肌に対しては最も苦心を要するのであるが、この種製品の記録的のものとして成功裡に完成した。

終りに臨み本鋼種による大物品の鑄造に先鞭をつけ現在の技術の基礎を確立された日立製作所日立工場田村副工場長をはじめ御懇切な指導を賜つた野村製鋼部長、守永副部長、日立研究所小野主任研究員、長島課長に対しこゝに謹んで感謝の意を表す。

## 参 考 文 献

- (1) Briggs: "The Metallurgy of Steel Castings" p. 434

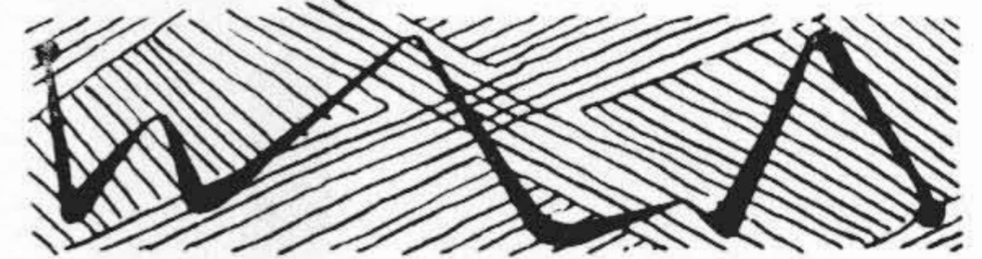


- (2) Caine: "A Study on 'Burn-on or Adhering Sand'" Trans. Am. Foundryman's Assoc. Vol. 51 pp. 647~705, 1943
- (3) Woodliff: "Metal Penetration in the Mold" Am. Foundryman pp. 6~8 No. V. 1942
- (4) 三橋: "工業用鋼鉄" 下巻 p. 96
- (5) Sims & Zarffe: "The Mechanism of Pin-hole Formation" Trans. Am. Foundryman's Assoc. Vol. 49 pp. 255~281, 1941
- (6) Thum: "The Book of Stainless Steels" p. 70
- (7) 鉄と鋼 昭和 26 年 10 月号 p. 36

- (8) Fritz Beitter: "Die Fehler im Gußblock und ihre Beziehungen zur Gießtemperatur und Gießgeschwindigkeit" Stahl und Eisen 69 (1949) Nr. 1718 Aug. p. 592
- (9) Bishop & Pellini: "Solidification of Metals" Foundry Feb. 1952 p. 86~93
- (10) Thum: "The Book of Stainless Steels" p. 70
- (11) Steel Founder's Society of America: "Steel Casting Design" Steel Castings Hand Book 1950 Edi. pp. 99~131.



新 案 の 紹 介

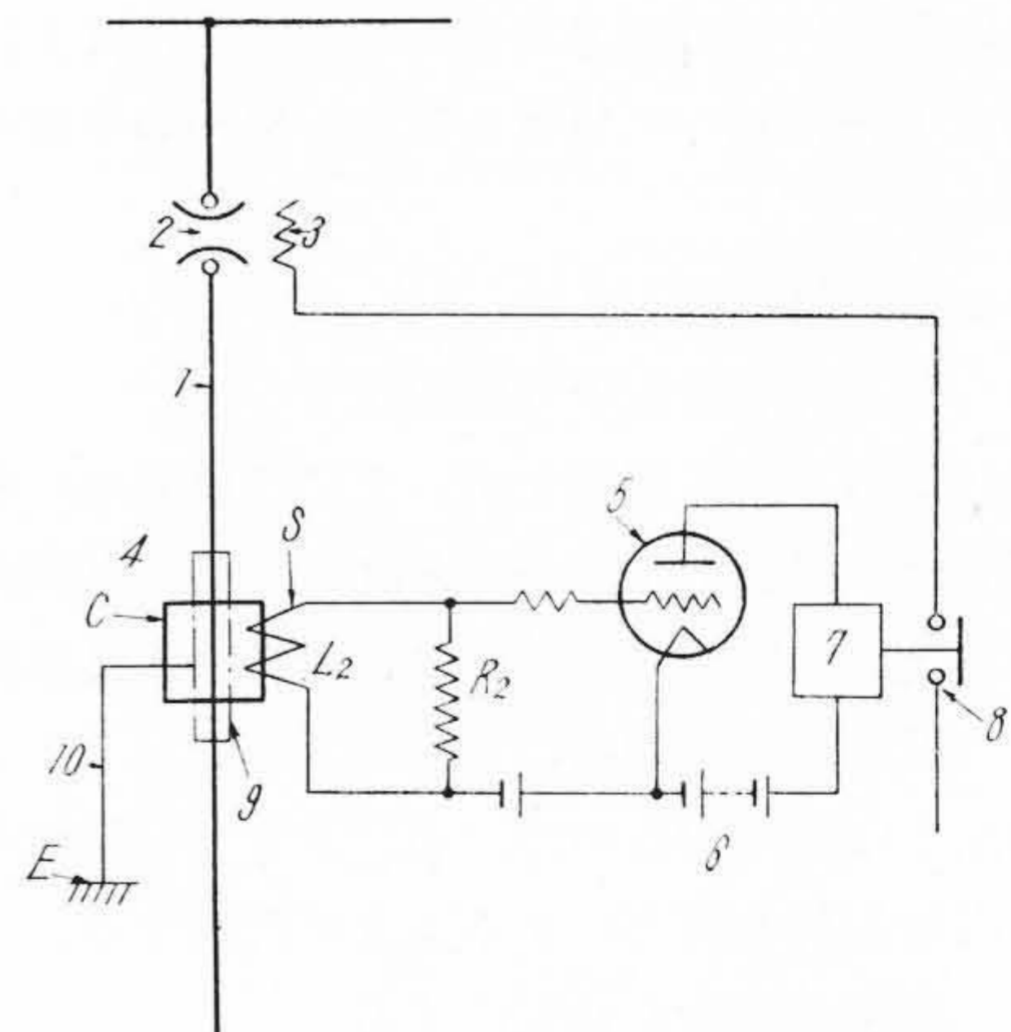


実 用 新 案 第 405929 号

森 山 一 夫 ・ 三 田 勝 茂

直 流 饋 電 線 選 択 遮 断 装 置

直流饋電線特に電車饋電線上の短絡接地等の故障を線路上の過負荷と区別して選択遮断保護することは、普通交流回路の選択遮断保護と違って非常に困難なものであるが、この困難は先に特許第 139830 号の提案があつて解決された。この種の提案はその後種々の異つた形で現われそれぞれの方面に実施されてきたのであるが、これらの諸提案には共通の欠点が附随するものであることを最近の調査研究の結果明らかにした。本案はこの対策具体案である。図に於て 1 は直流饋電線、2 は高速度遮断器、3 はその引外線輪、4 は直流変流器で、その鉄心 C には二次線輪 S を巻く、S の二次回路はそれ自身のインダクタンス  $L_2$  と無誘導抵抗  $R_2$  とによつて閉結し、サイラトロン 5 の格子は  $R_2$  の電圧降下量によつて制御される。6 はその陽極電源、7 は継電器、8 はその接触子で、これは線輪 3 の回路を制御する。線輪 S の二次回路定数  $L_2$ 、 $R_2$  の選定によつて  $R_2$  の両端に現われる電圧の高さや立ち上り角度が饋電線 2 を流れる電流の性質によつて異なり、重負荷による過大電流と故障による過電流とは明らかに区別され、後者に基づく  $R_2$  の両端の電圧の著しく峻鋭な現象をとらえて 5 を点じ 7 を作動させ 3 によつて遮断器 2 を高速度遮断するもので、これが本装置の原理なのである。ところがこの実際作動の状態を調査すると S の二次回路には線路 1 に何等異常故障がないのに不拘相当の値の漣波電圧が見られ、この電圧が装置全体の感度を下げる原因になることが解り、しかもそ



の程度は放置することを許さぬものであることが確定した。又この漣波電圧は饋電線 1 が無負荷の場合でも存在することから、それは整流器等から導来するものであり、且つその周波数等から推して二次回路への再現は電磁誘導作用に基くものではないことを突きとめた結果、本案は変流器 4 の一次たる線 1 の鉄心貫通部と二次線輪 S との間に静電遮蔽 9 を介装し且つそれを接地線 10 によつて大地 E に導いたものである。この結果饋電線 1 と線輪 S との間の漂游容量を介しての両者の静電的結合は 9, 10, E によつて断ちきられ漣波電圧の出現は顕著に低減するを得た。(宮崎)