

18Cr-8Ni ステンレス鋳鋼製大形ポンプ水車用 ランナの 鋳 造

Manufacturing of the Large 18Cr-8Ni Stainless Cast Steel Pump-turbine Runner

鷺 山 重 也* 星 昌* 清 水 三 男*
Shigeya Sagiyama Akira Hoshi Sabuo Shimizu
天 海 忠 弘* 佐 藤 一 男*
Tadahiro Amagai Kazuo Satō

要 旨

日立製作所勝田工場で鋳造したアメリカ合衆国サンルイス発電所納 8 台のポンプランナは、重量約 50 t、外径 5.4 m に及ぶ、超大物 18Cr-8Ni ステンレス鋳鋼製である。材料規格は ASTM, A296-CF8 で、炭素量 0.08% 以下という低炭素鋼なので溶解、鋳造とも技術がむずかしいものであった。電弧炉 4 基による合せ湯方式により 100 t の溶湯を溶解し、鋳造を完成させた。

1. 緒 言

日立製作所では社内に原料工場を持ち古くからフランシス、ペルトン、カプランなどあらゆる形式のランナを鋳造し多くの実績をあげてきた。最近、発電所の単位容量の増大に伴いランナも大形化し、加えて耐キャビテーション性、機械的性質がすぐれているという理由でステンレス鋳鋼が用いられる傾向にある⁽¹⁾。そのためランナの鋳造にはきわめて高度の技術と経験が必要となっている。

近時電力の効果的活用を図るため、同一ランナをポンプおよび水車に兼用する揚水式発電所が各地に建設されている⁽²⁾。日立製作所はわが国における揚水式発電用ポンプ水車製造のパイオニアとして各電力会社に納入してきたが、それらの機器に取り付けられているランナはすべて日立製作所勝田工場で鋳造したものである。

今回日立製作所勝田工場ではアメリカ合衆国サンルイス発電所向けポンプランナ 8 台を鋳造した。このランナは鋳込重量 100 t に及ぶ超大形の 18Cr-8Ni ステンレス鋳鋼製である。ここにその鋳造経過を取りまとめて報告する。

2. ランナの仕様

鋳造したランナの仕様を表 1 に、完成品の外観を図 1 に示す。これからわかるように 18Cr-8Ni ステンレス鋳鋼製ランナとしては世界最大級のものである。寸法検査および非破壊検査とも厳重に行なわれた。寸法的にはランナの効率を保証するためモデルランナとの相似性が重要で、ランナの羽根はプロファイルの正確なことが要求される。

クラウン側の羽根つけ根は使用時の応力が大きいので、放射線検査を実施した。判定基準は ASTM に準拠した。そのほか表面検査として流水面全面に染色探傷検査を行ない、き裂、ピンホールなど有害な欠陥のないことを確かめた。

3. 鋳 造 方 案

多年の経験と研究結果をもとに図 2 に示すような鋳造方案を作成した。伸尺は 18-8 オーステナイト鋼であるので 20/1,000 とした。

方案作成上の問題点をあげると次の各項目がある。

- (1) 変形を予想してあらかじめペーンにつける予備肉の量
- (2) 羽根つけ根のき裂とひけの防止
- (3) 酸化膜の発生による湯じわと砂傷の防止

* 日立製作所勝田工場

表 1 サンルイス発電所納 ポンプランナの仕様

回 転 数	150/120 rpm	材 質 規 格			
		ASTM A296-CF8			
最 高 落 差	95.4 m	C _{max} 0.08	Si _{max} 2.00 (%)	引張強さ	min 45.7 (kg/mm ²)
		Mn _{max} 1.50	P _{max} 0.04	降 伏 点	min 19.6 (kg/mm ²)
最 大 出 力	51,000 kW	S _{max} 0.04	Ni 8.00~11.00	伸 び	min 35 (%)
		Cr 18.00~21.00			

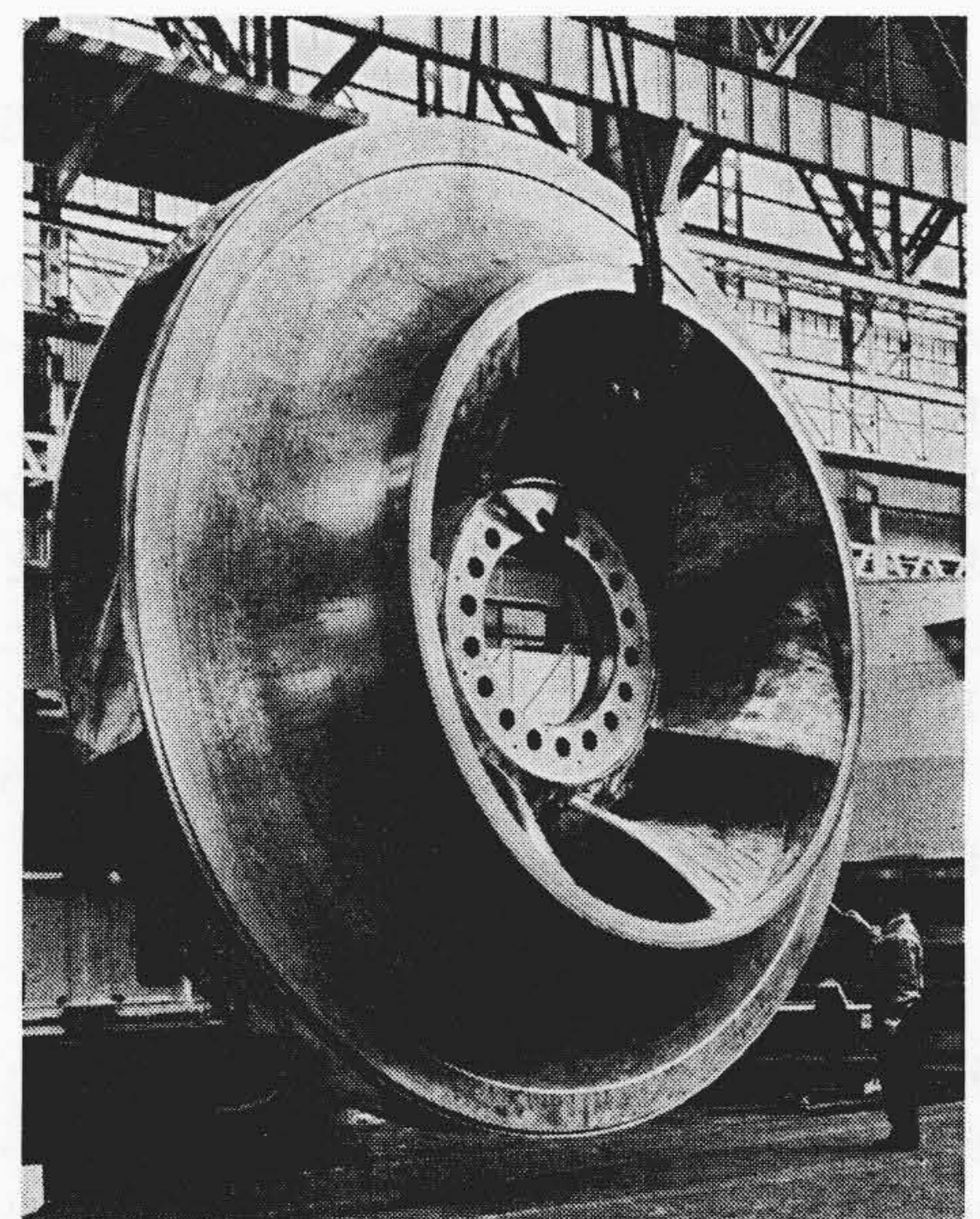


図 1 サンルイス発電所納 18Cr-8Ni ステンレス鋳鋼製ポンプランナ

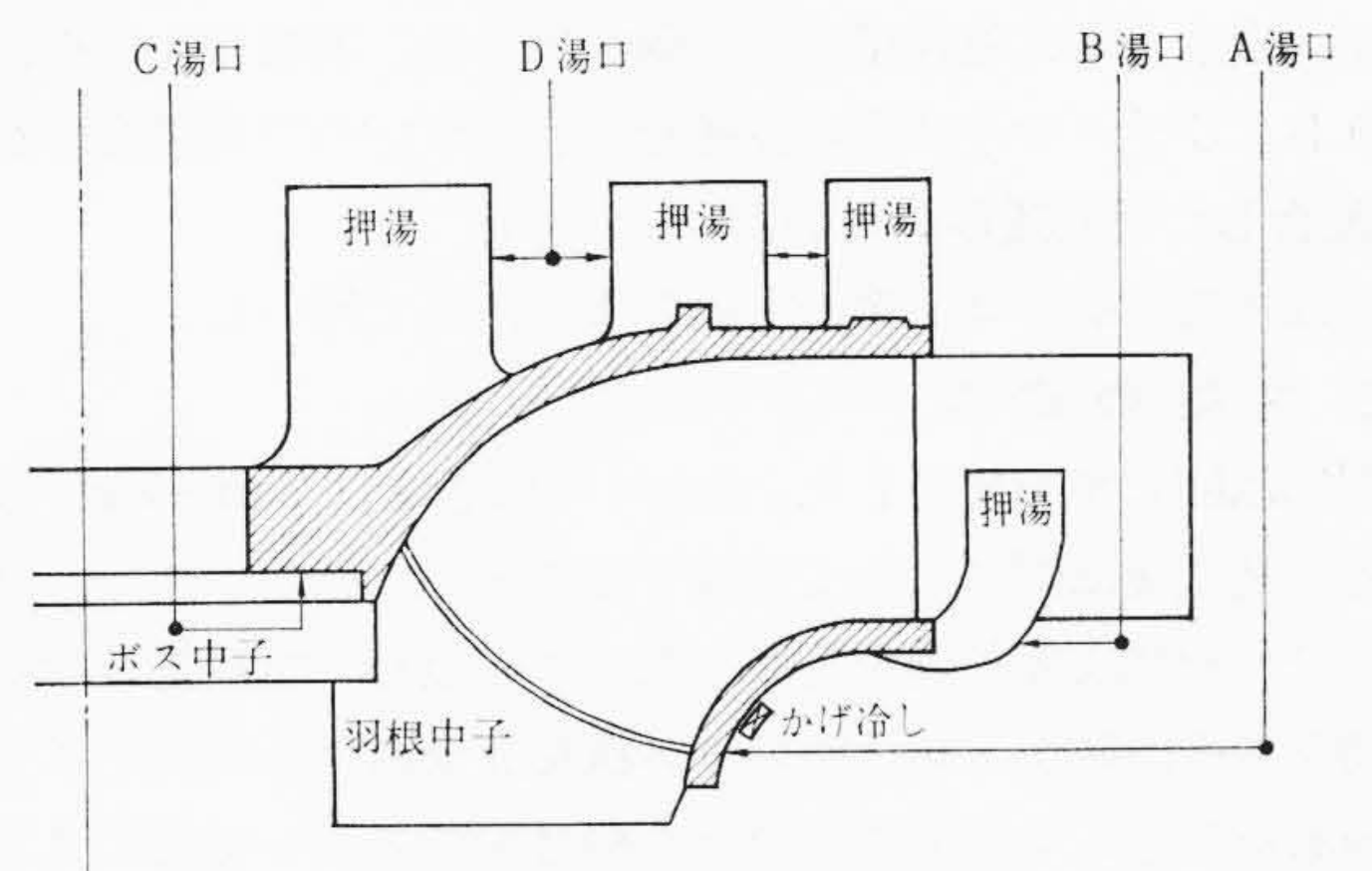


図 2 サンルイス納 ランナの鋳造方案

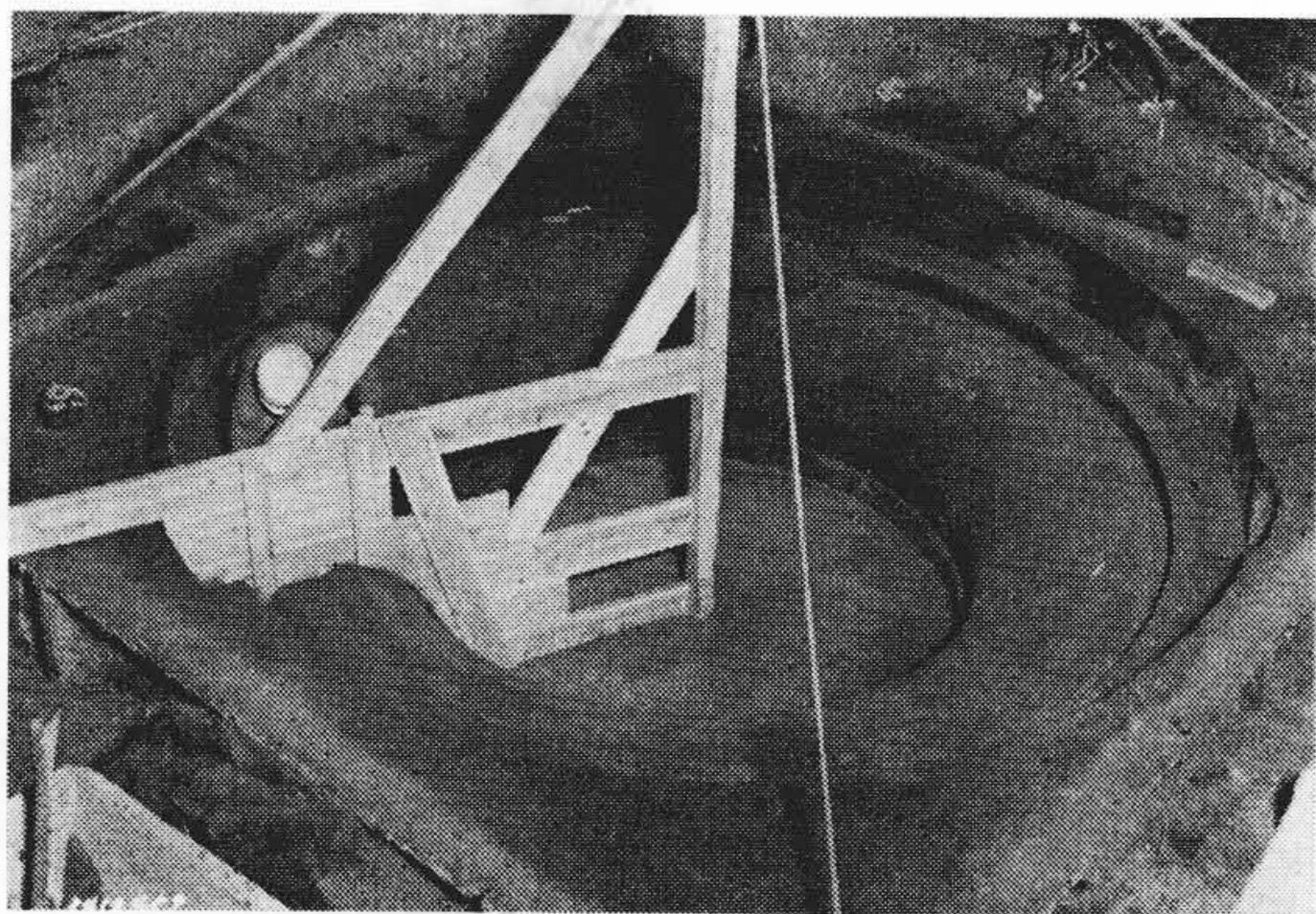


図 3 造 型 中 の 下 型

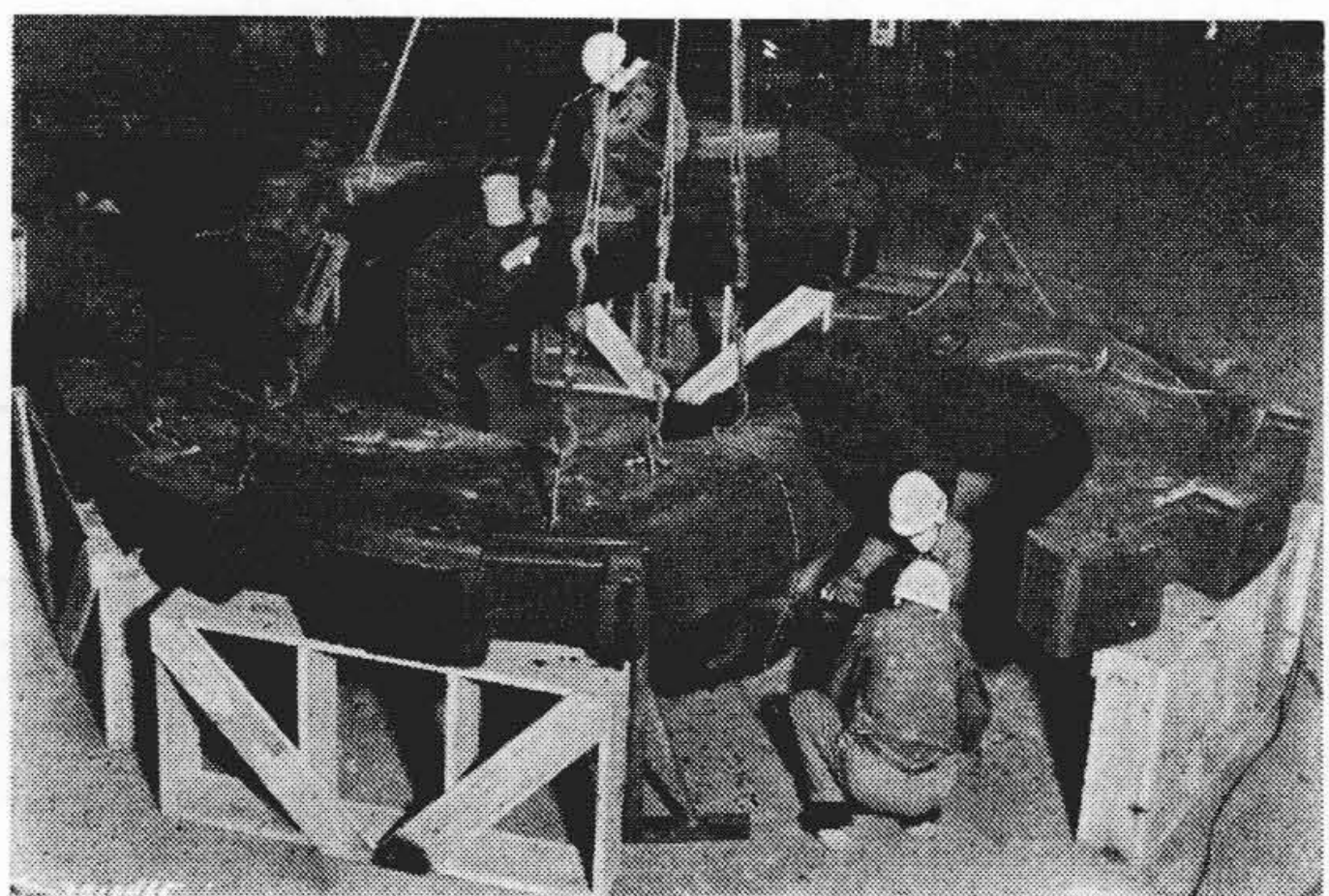


図 4 乾 燥 後 組 立 準 備 中 の 中 子

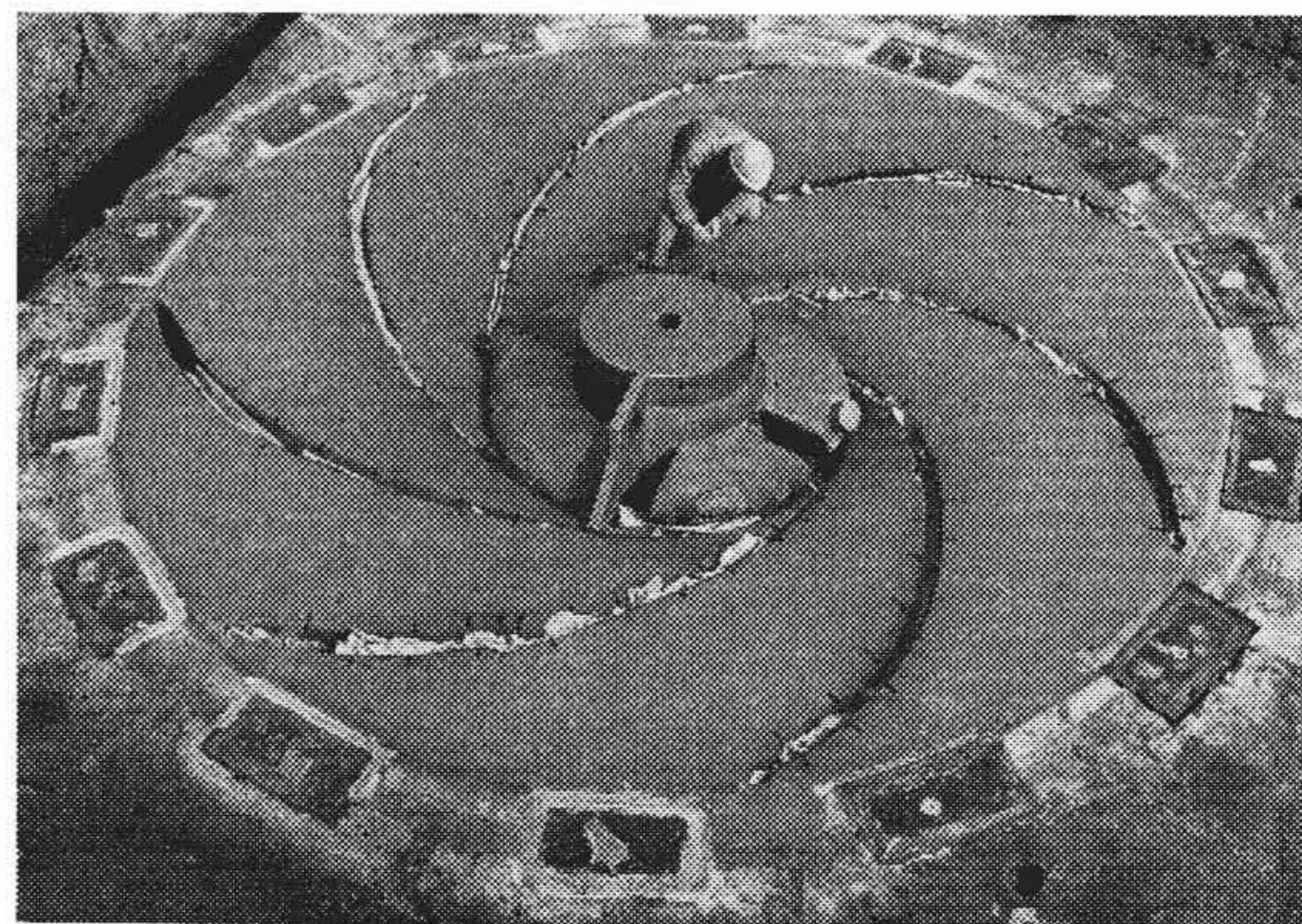


図 5 下型に収められた中子

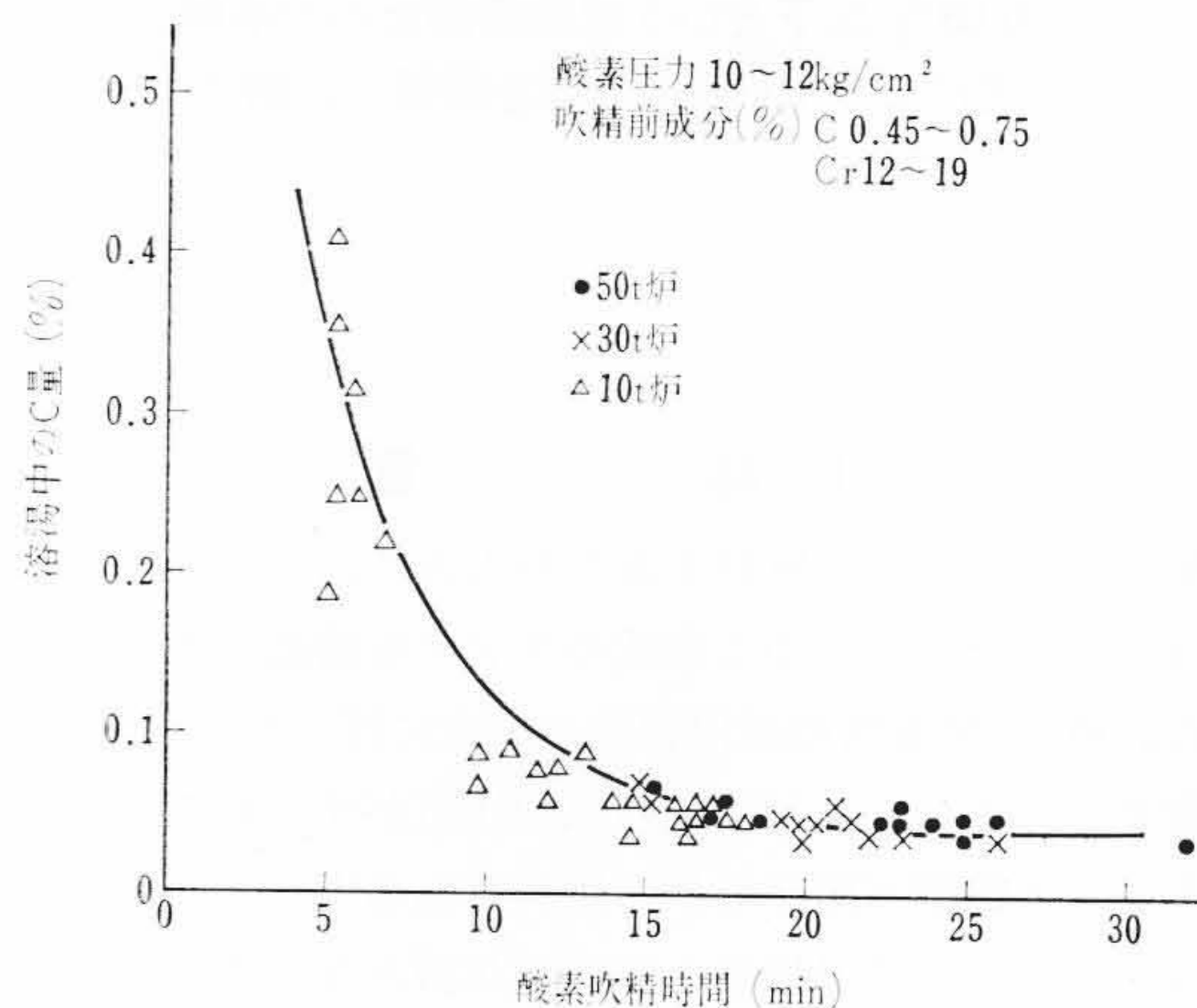


図 6 酸素吹精時間と鋼浴中の炭素量との関係

羽根の変形対策としては従来の経験から予備肉の量を場所により変えた。

羽根つけ根のひけとき裂の防止のため、クラウン側では押湯の大きさとその位置を選ぶことにより解決し、シュラウドリング側では上部に押湯を立てるほか陰冷しを用いた。

酸化膜と砂傷は、注湯温度と铸込速度により影響される。湯の上昇速度が速すぎると铸型を荒し砂傷を増し、おそすぎると酸化膜が発生し湯じわを生ずる。最も適した湯の上昇速度は肉厚にもよるがおおむね 10~25 mm/s である。ランナ各部の水平断面の重量分布を計算し、湯面の上昇速度がこの範囲にはいるよう湯道の大きさ、数およびせき先の位置を定めた。

4. 造 型

4.1 铸 物 砂

品質の良い铸鋼品を製造するための最も重要な因子の一つに良い铸物砂を用いることがあげられる。高純度の人造ケイ砂を骨材とし、高耐火度の粘土を主粘結剤として各種の補助粘結剤の組合せにより、あらゆる鋼種に使用可能な肌砂を研究開発して使用している。

主型、中子ともに乾燥型用の肌砂を用いた。羽根のつけ根、押湯まわりおよびボス中子は湯の浸透を生じやすいので高純度の石粉を 70% 配合した耐浸透砂を用いた。

塗型は市販のジルコン系のものを水で溶いて用いた。

4.2 主 型 の 造 型

下型には回し型を使用した。金わくの大きさは 7 m×7 m×1.5 m である。造型後は炉に入れて乾燥することができないので、ポータブルドライヤによる乾燥を行なった。この金わくを据え付けるピットは铸型の吸湿防止と铸込時のガス抜を完全にするため、ピット底には碎石をしき、その上には金わく締付用のステーを縦に 2 本、横に 3 本セットし、金わくをおいた。上型は造型後反転することがで

きないので、土間に捨型を回し型で作りその上で造型した。

図 3 は造型中の下型を示したものである。

4.3 中 子 の 造 型

中子には現型を用いた。羽根の中子は長さ 6 m、重さ 7 t もあり造型後の変形が最も心配された。その対策として心金は主骨 4 本を溶接で相互につなぎ箱形とした。

造型完了後、乾燥炉で 300℃ 12 時間の乾燥を行なった。図 4 に完成した中子を示す。中子の組立に際してはあらかじめ定盤の上に組立寸法をけがいておき、これに合わせて 1 個 1 個組み立てる。組立が完了したならば羽根の肉厚が均等かどうかを調べて調整する。中子は一体に組み立てたのちにクレーンでつりあげ下型に収める。

図 5 は下型に収めた中子を示したものである。

5. 溶 解⁽³⁾

ランナ 1 個の溶湯の所要量は約 100 t で、50 t、30 t、10 t×2 の計 4 基の電弧炉による合せ湯とした。50 t および 30 t 炉にはインダクションスターラが設置されており、溶解中常に電磁力によってかくはんされ均一な溶湯を作るようにしている。

18-8 ステンレス鋼の酸素吹精終了時の鋼浴温度は 1,900℃ 以上の高温となり、しかも強酸化性となるので炉床の構築と保守には特に注意を払った。

低炭素ステンレス鋼の溶解において最も技術的に困難な点は酸素吹精による脱炭操作である。脱炭速度は酸素吹精速度に比例し大となり、溶湯の C% にかかわらず直線的な傾向を示す。しかし酸素吹精の初期は鋼浴温度が上がるに従って 0.1% まで急速に脱炭するが、これ以下に炭素量を下げることが次第に困難となり、0.05% になると吹精時間を長くしても脱炭が困難となる。図 6 は本ランナの溶解

表2 各炉の成分分析値の一例(%)

ランナ No.	チャージ No.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
1	20378-1	0.05	0.73	0.70	0.021	0.013	8.38	18.54
	20378-2	0.06	0.70	0.67	0.022	0.012	8.42	18.16
	13268	0.05	0.84	0.68	0.022	0.015	8.52	18.72
	69090	0.07	0.76	0.71	0.021	0.012	8.65	18.20
	79085	0.05	0.93	0.75	0.019	0.012	8.64	18.63
2	20422-1	0.07	0.75	0.63	0.024	0.016	8.84	19.03
	20422-2	0.07	0.78	0.66	0.026	0.014	8.92	19.06
	13466	0.06	0.76	0.67	0.022	0.014	8.83	19.05
	69413	0.06	0.86	0.71	0.021	0.018	8.40	19.20
	79388	0.06	0.91	0.75	0.024	0.016	8.64	19.29
3	20433-1	0.07	0.77	0.68	0.026	0.016	8.52	18.74
	20433-2	0.07	0.65	0.69	0.025	0.016	8.62	18.60
	13535	0.07	1.05	0.72	0.028	0.015	8.43	18.95
	69525	0.07	0.80	0.74	0.026	0.018	8.49	18.85
	79492	0.07	1.02	0.73	0.026	0.018	8.60	18.76

表3 試験片の機械的性質の一例

引張強さ (kg/mm ²)	降伏点 (kg/mm ²)	伸び (%)	絞り (%)	曲げ (1°/90°)	かたさ (HB)
47.7	24.8	55.0	72.6	OK	124
47.7	25.5	43.0	75.8	OK	137
49.9	24.0	54.0	61.1	OK	140
52.0	24.7	47.5	50.8	OK	146
52.2	24.8	47.5	50.8	OK	146
48.0	20.9	56.0	72.6	OK	140
47.2	23.2	63.0	61.1	OK	118
49.5	24.8	51.0	71.0	OK	124

における酸素吹精時間と鋼浴中のC量との関係である。

溶鋼中の窒素ガスは溶解作業中の変動は少ないが、酸素は酸素吹精により著しく増加し還元期には急速に減少する。水素は酸素吹精時に最低となりその後若干増加する。

溶解作業中各炉の化学成分はカントバックによりチェックし、一致させるよう操業した。鋼浴温度はイメージンパイロメータにより測定されながら溶解する。

表2は各炉ごとの分析値の代表例を示したものである。

6. 鋳 込

鋳込は出鋼後すべてのとりべが所定の位置にセットされたのち計画の順序に従ってストッパが切られた。

最初に図2の方案図に示したA湯口から鋳込まれ、続いてB湯口から注湯される。鋳型内を満たした湯がランナのクラウンの下部に達したときC湯口からも注湯される。クラウン部分が湯で満たされるとすべてのストッパを閉じ、押湯へD湯口から湯を注入した。

湯の上昇速度はあらかじめ計算された速さにほぼ近かった。

図7は鋳込作業を示した写真である。

7. 鋳 仕 上

注湯後1週間鋳型内で冷却したのち砂落しを行なった。図8に砂落し中のランナを示す。砂落し後、押湯および湯道をパウダーカッティング法によりガス切断除去し後工程に進めた。

7.1 熱 処 理

18Cr-8Ni ステンレス 鋳鋼の性質を最大に発揮させるためには1,000℃以上に加熱し水冷することが必要である。しかしサンルイス納ランナのように寸法および重量が大きく、複雑な形状の鋳鋼品

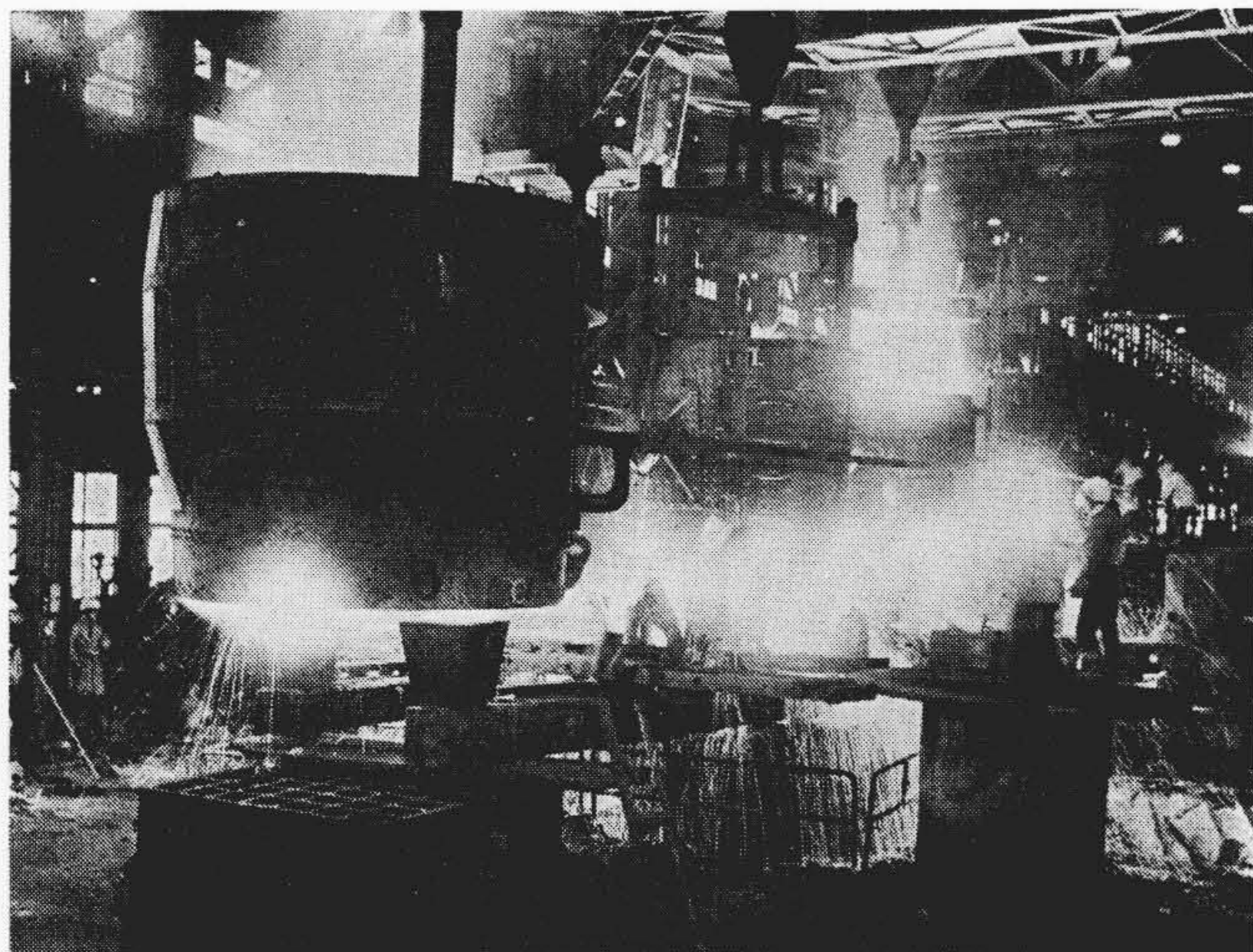


図7 サンルイス納 ランナの鋳込

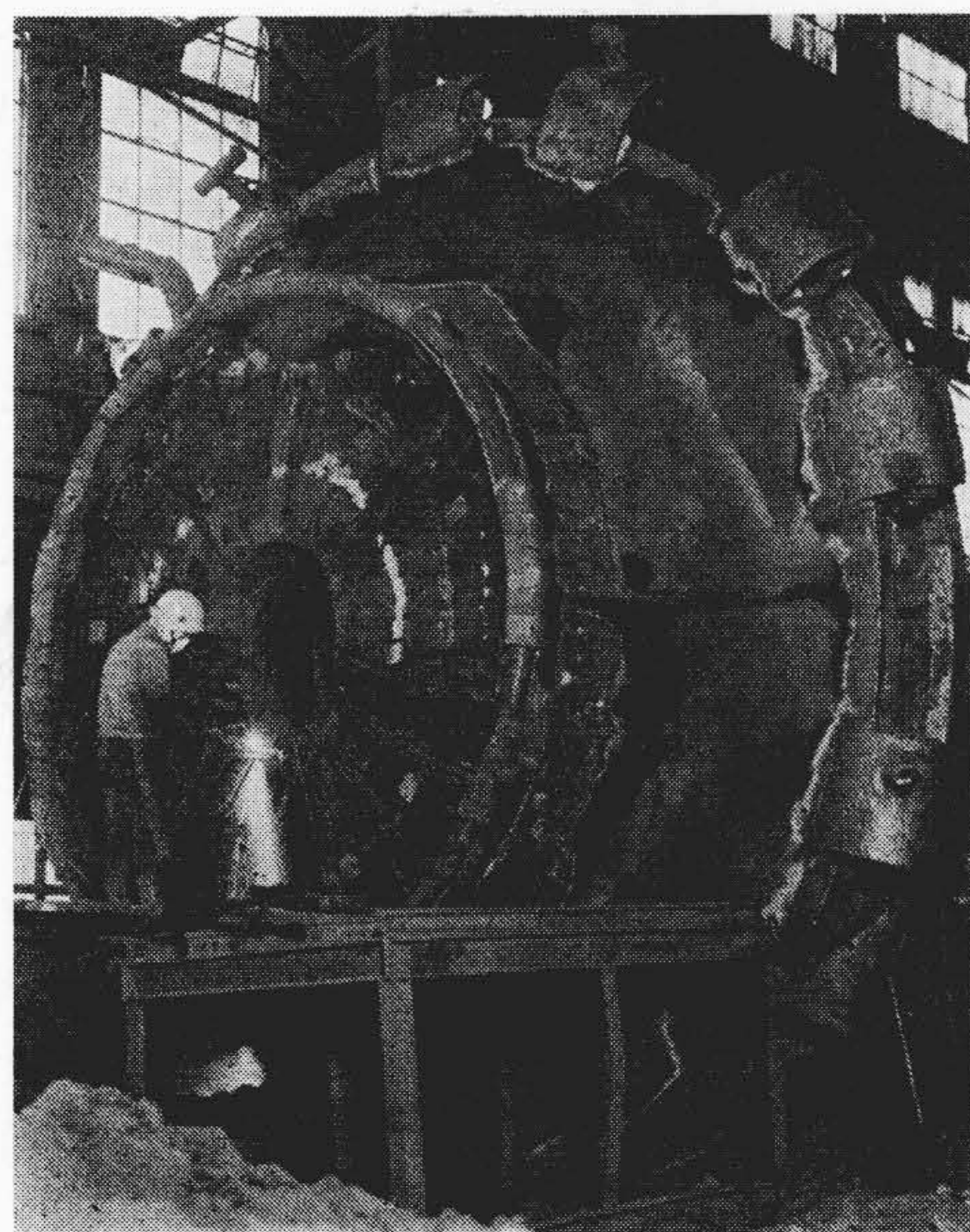
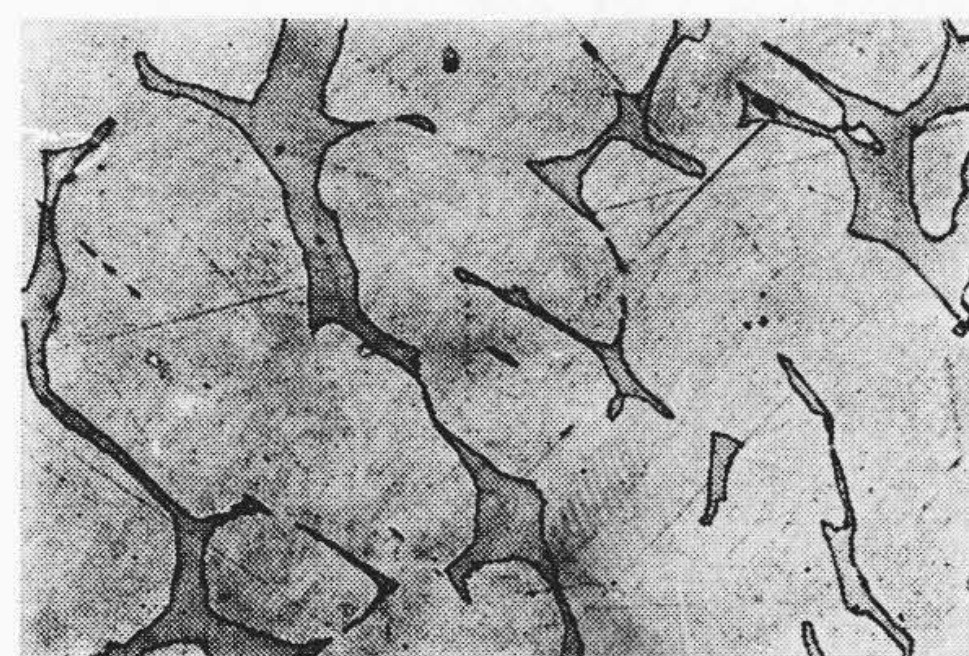


図8 砂落し作業中のランナ



(10% 硝酸中で30秒電解腐食)

図9 顕微鏡組織の一例 (×400)

を水中で急冷することは不可能である。そこで実際に採り得る作業で最も冷却速度を大きくする方法が検討された。

その結果ランナを炉より取り出し、あらかじめセットしておいた焼入装置に運搬し焼入をした。ランナの上下面はシャワーによる冷却、外周と羽根はファンとスプレーガンにより操作した。これらの装置にはいずれもコントロールバルブを設け、エアおよび水量を調節できるようにした。

焼入冷却速度は赤外線記録温度計、ふく射温度計およびテンピルステックを用いてチェックした。最も冷却速度の遅い肉厚部で1,000℃から200℃に達するに要する時間は約90分であった。

表3に各試験片の機械的性質の一例を、図9に顕微鏡組織の一例

を示す。

地はオーステナイトで島状に見えるのはフェライトである。鋳鋼品は鍛造品あるいは圧延品と異なり塑性加工を受けないので、フェライトは凝固時のデンドライト模様を残している。

18-8 鋳鋼は熱処理によって結晶粒を微細化できず、高温に必要以上長時間加熱をすると結晶粒が粗大化し機械的性質を劣化させる。そのため凝固時の結晶粒を微細にすることが重要で出鋼時とりべに特殊の結晶粒微細化元素を添加した。

図 10 はシェフラーの状態図⁽⁴⁾である。この図は溶着鋼の組織を推定するのに用いられるが鋳鋼にも使用できる。サンプルスランナの化学組成の範囲を図中にハッチングして示した。この図から組織は 5~15% のフェライトを有する 2 相で、図 9 の組織とよく一致する。

水車ランナの場合、特に水質が酸性であるとか海水が多量に混入するような使用条件でなければ、粒間腐食に対する心配はない。オーステナイトの地にフェライトが存在すると粒間腐食に対する抵抗を増し⁽⁵⁾、溶接き裂感受性を低下するので安全な溶接ができる。CF-8 材は低炭素であり炭化物の析出は少なく耐食性は高い。

7.2 加工

熱処理後機械により荒削りを行ない次いでだ肉あるいは欠陥の除去作業を行なった。放射線検査の結果内部は健全であることが確かめられた。染色探傷による表面欠陥検査の結果、鋳肌面にブローボールが検出され補修した。

寸法検査結果発見されただ肉の除去あるいは欠陥を除去するためアークエアブラッシング法を活用した。変形を防止するためステーを張って拘束し、ブラッシングの方向も考慮して作業をした。

羽根の荒仕上は電気グラインダによって行なわれた。

7.3 溶接

溶接には鋳傷の補修と寸法修正のための肉盛がある。ポンプランナは使用条件がきびしいので耐キャビテーションエロージョン性能が特に重要である。溶着金属が母材よりも耐キャビテーション性能が落ちることのないよう日立製作所日立研究所で特に開発した溶接棒を用いた。

18Cr-8Ni ステンレス鋳鋼の溶接に際しては予熱を行わず溶接熱入力をできるだけ小さくし、熱影響部の幅を狭くして溶接き裂の

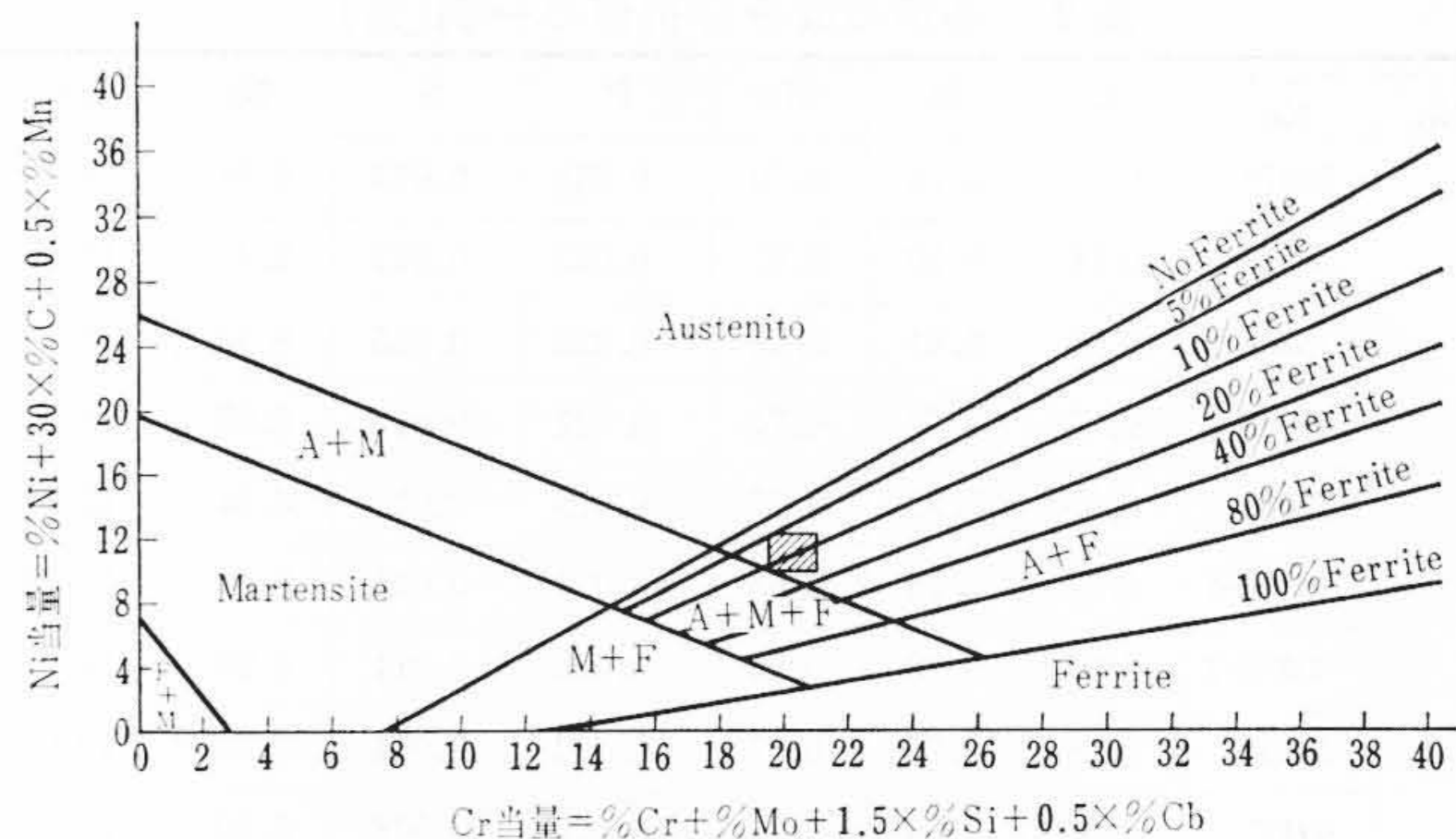


図 10 シェフラーの状態図

防止を図った。溶接施工に際しては変形を最小限にするためステーによる拘束を行ない、ピーニングを併用し、広く肉盛る場合にはブロック法、飛石法などを採用した。

8. 結 言

サンプルス発電所納ポンプ水車用ランナの製造経過について述べた。このランナの製造に当たっては蓄積された技術のすべてを動員した。また日立製作所日立研究所および日立工場の設計、検査などと密接な連絡をとり総合技術の粋を尽した。

その結果 8 台とも順調に納入でき、現地における据付も完了し試運転結果も良好であった。

現在われわれは世界最大の 70 t に及ぶ 13Cr 鋳鋼製ポンプランナおよび 25 t の 13Cr 鋳鋼製一体ペルトンバケットランナを鋭意製造中でありその製造経過を次の機会に発表したいと考えている。

今後ますます高度化する設計、工作組立技術に対処して需要家各位の要望に沿うようなランナを製造していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 藤間：日立評論 別-41, 67 (昭 36-9)
- (2) 深栖ほか：日立評論 46, 1851 (昭 39-11)
- (3) S. E. Wolosin: The Melting of 18-8 Stainless Steel. (Paper of Casting Technical Session Dec. 6, 1961)
- (4) A. L. Schaeffler: Metal Progres 56, Nov. 1949 p. 680
- (5) Metals Hand Book 8th Edition Vol. 1, p. 436



新 案 の 紹 介



登録実用新案 第 829672 号

角 田 寛・西 川 昭 二・結 柴 秀 明
皆 川 伯 夫・海老根 隆 義

ト ロ リ 線

この考案は、電気鉄道、市内電車、地下鉄などの給電に使用されるトロリ線の改良に関し、その要旨は図面に例示するように、トロリ線 1 の摩耗面 6 が摩耗して電流容量、抗張力などの諸点から使用限界とされるトロリ線使用限界線 2 上に位置して警報用電線 3 を設けたものである。電線 3 としては銅線またはアルミ線 4 の周囲に耐熱ビニル絶縁体 5 を設けた構造が適し、導電線 4 はたとえば給電制御室に設置した警報装置の継電器動作回路に接続される。

このように構成すると、トロリ線 1 の摩耗面 6 がパンタグラフとの接触により徐々に摩耗して使用限界線 2 に達したとき、電線 3 を通して前記警報装置の継電器を動作させて、トロリ線の保守上必要な摩耗到来の検知あるいは警報の発信を行なうことができる。この結果、架設されているトロリ線の摩耗状況を巡回することなく早期に発見して摩耗によるトロリ線の断線事故を未然に防止し、計画的に送電停止時間を短くしてトロリ線を新しいものと交換できることになり、電気鉄道におけるトロリ線の保守と輸送能力の低下防止に大きく貢献するものである。

なお、この考案は図示説明のトロリ線に限定されることなく、そ

のほかの円形トロリ線、てい形トロリ線にも同様に適用できる。(斎藤)

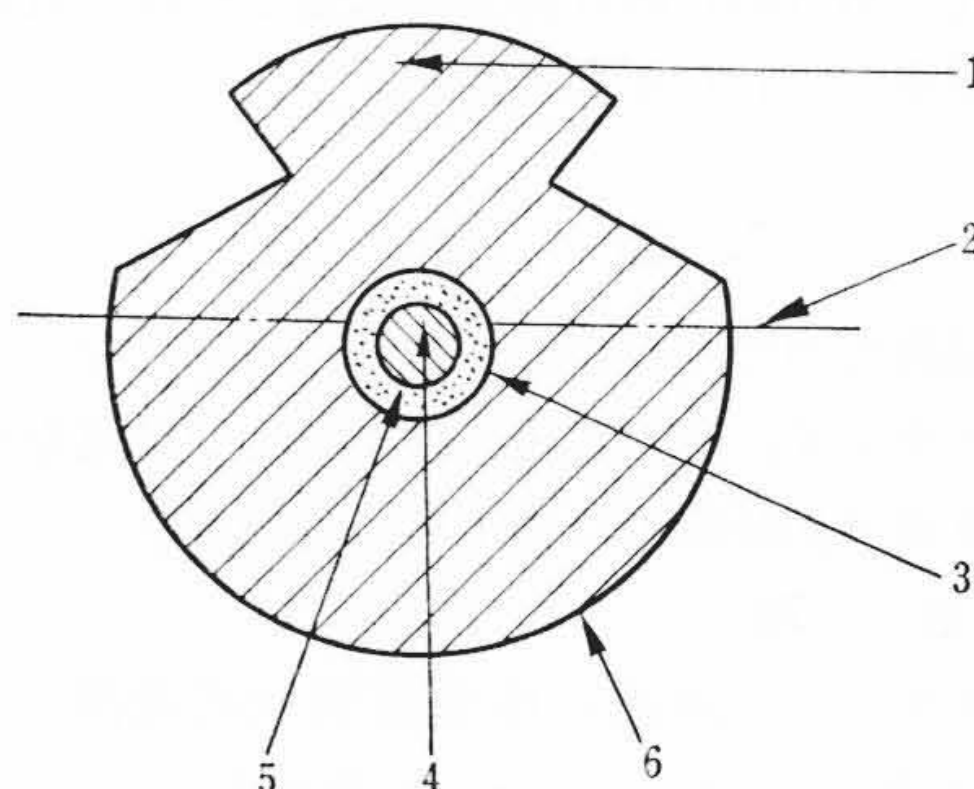


図 1