

# 熔接構造水車ランナの製作

## Fabrication of Welding Construction Runner of Francis Turbine

鳥山 忠次\* 妹島 五彦\* 大国 哲男\*  
 Tadatsugi Toriyama Itsuhiko Sejima Tetsuo Ōkuni  
 伊藤 栄郎\* 星 昌\*\*  
 Hideo Itō Akira Hoshi

### 内 容 梗 概

最近のすう勢として、大形フランス形水車ランナの熔接構造化が各国主要水車製作者によって取りあげられ国内においてもすでに製品として運転中のものもある。従来の一休鑄造ランナに比較していくたの長所があり今後ますます熔接構造化が進むことが明白である。本報告は日立における熔接構造水車ランナの製作概要をまとめたものである。

### 1. 緒 言

熔接構造フランス形水車ランナはすでに欧米ではもちろんのこと国内においても二、三製品として出現しており、これらの一部については1955年の国際熔接会議などにおいて発表されている<sup>(1)~(4)</sup>。今後大形ランナは熔接構造化されることが明白であり、一休鑄造ランナに比較していくたの長所がある。筆者らは数年前よりこれが製作に関する試作研究を行ってきたが、まず昭和32年出口径1,600mmφのランナの試作に成功し、ついで昭和33年には宮崎県綾北発電所納めのランナを製作し、好調な運転成績をおさめている。引続き出口径3,240mmφの大形ランナを試作完成した。今回ここに熔接構造ランナの製作の概要と二、三の問題点について述べる。

### 2. 熔接構造水車ランナの製作目的

熔接構造水車ランナの製作目的は下記にかかげるような要求および利点から出発するもので以下各項目について述べる。

- (1) 大形ランナの製作にあたって一休鑄造が困難である場合  
 従来フランス形水車ランナは一休鑄造品であるが、最近のように水車の容量が大となり、ひいてはランナも大形化すると、鑄造設備に制約されて大物の一休鑄造は困難になるか不可能な場合も考えられる。分割して鑄造することも考えられるが接続方法に関してはまだ研究の余地がある。
- (2) ベーンの仕上げが容易となり寸法精度の確保が得られやすい。  
 一休鑄造品ではベーンの仕上げ工数がばく大となり最終工程でグラインド仕上げを行っているが、熔接構造ではベーン、クラウンプレート、およびシュラウドリングなどをそれぞれ仕上げをすませて熔接し、熔接後は設計要求に合う細部の仕上げを行えばよく、作業も容易となりかつ寸法精度が確保されやすい。
- (3) ベーン、クラウンプレートおよびシュラウドリングのおおのに最適の材質を選定できる。  
 発電所の種々の条件から耐摩耗、耐キャビテーションなどのため従来からランナの一部に不銹鋼の肉盛りをしたり、全体を特殊鑄鋼にしたりしているが、熔接構造になると各部に最適の材質を選定することができランナの寿命延長が可能である。第1表は各部の材質計画であるが場所によっては肉盛りも併用できる。
- (4) 作業の機械化能率化が容易で原価低減ができる。

第1表 熔接構造水車ランナの材質計画

計 画	品 名	ベ ー ン		シュラウドリング		ク ラ ウ ン	
1	案	鑄	鋼	鑄	鋼	鑄	鋼
2	案	鑄	鋼	鋼	板	鑄	鋼
3	案	鋼	板	鋼	板	鑄	鋼
4	案	鋼	板	鑄	鋼	鑄	鋼

注：(1) 鑄鋼……普通鑄鋼または特殊鑄鋼  
 (2) 鑄鋼、鋼板とも表面肉盛り可能

第2表 ベーンの化学成分(%)

熔 #	C	Si	Mn	P	S	Cu
63222	0.22	0.50	0.75	0.017	0.005	0.20

### 3. 熔接構造ランナ製作の要点

ランナ製作のため一連の試作研究を行い、種々の問題点について逐次解決をはかったが、特に重要と考えられる点について説明すると次のようである。

- (1) ランナベーンの鑄造法の確立
- (2) 組立て方法の確立
- (3) 熔接継手形状および施工法の研究
- (4) 継手の疲労強度の検討
- (5) 熔接部の非破壊検査の適用基準の確立

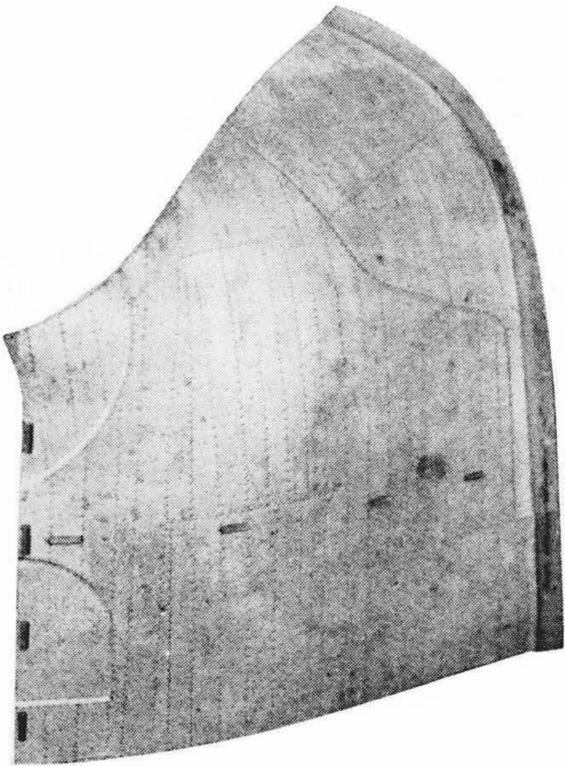
#### 3.1 ランナベーンの鑄造

熔接構造フランスランナは熔解設備に制約されることなく大形のランナを製作することができる。またベーン、シュラウドリングおよびクラウンにそれぞれ最も適した材料を使用しうる。これらが大きな特長であることを前に述べた。

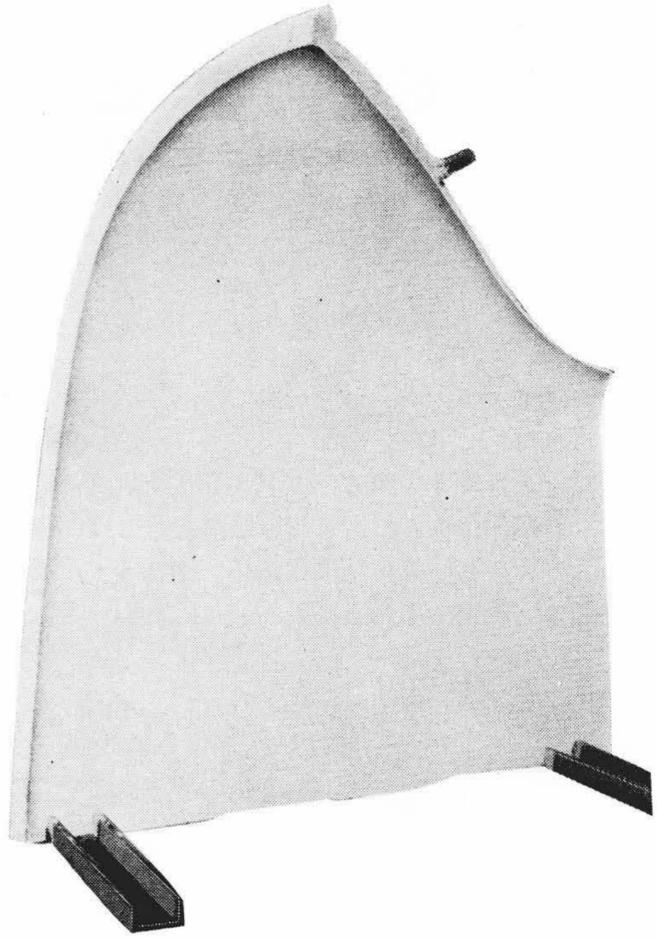
クラウンおよびシュラウドリングはその形状が比較的簡単であるため容易に鑄造することができる。しかしながらランナベーンは複雑な曲面を有する肉厚の不均一な板であるため鑄造時に変形しやすい。したがってその寸法形状の正確なものを鑄造するにはきわめて高度の技術と経験を必要とする。

ベーンは一般に一枚一枚単独に鑄造される。木形は第1図に示すように現形を用いた。造形は横込めで鑄込みは縦鑄込み方式とした。ベーンの肉厚中心部に生ずる引け巣を防止するため十分な押湯をつけ、鑄造時の変形防止にはリブおよび玉縁をつけた。第2表に鑄造したベーンの化学成分を示す。鑄込まれたベーンは砂落しのち、押湯、湯道をガス切断し所定の熱処理を施した。第2~3図に鑄放し完成のベーンを示す。

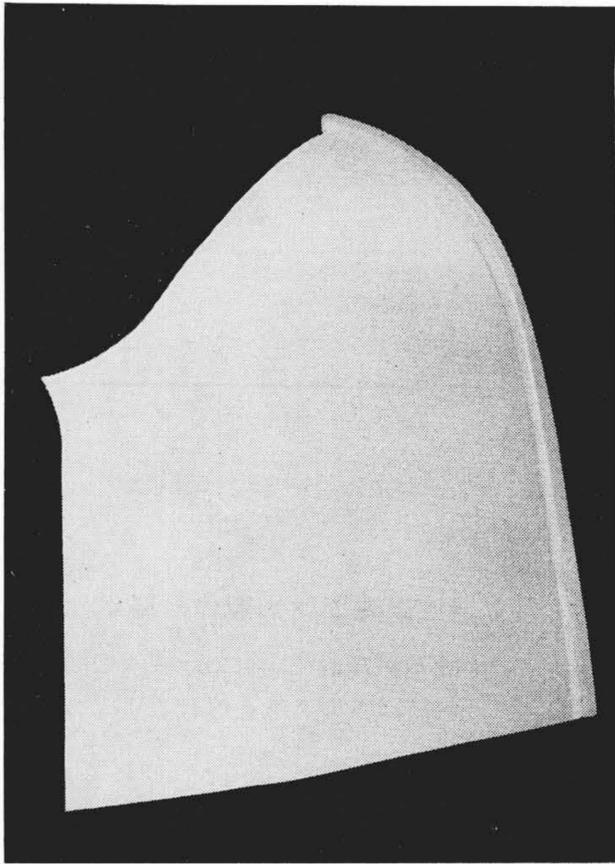
\* 日立製作所日立工場  
 \*\* 日立製作所水戸工場



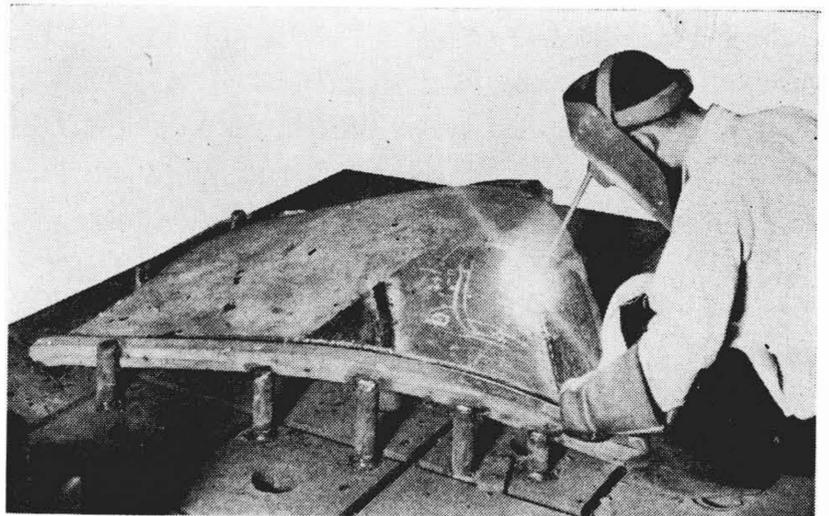
第1図 ベーンの木形



第3図 鑄放し完成のベーン



第2図 鑄放し完成のベーン



第4図 ベーンの不銹鋼肉盛り作業

### 3.2 ベーンの不銹鋼肉盛り

キャビテーション防止のためベーンの反作用面に18-8不銹鋼の肉盛り熔接を行った。熔接はベーンを定盤に完全にこす束し、熔接順序を十分考慮しピーニングを併用して変形を極力防止した。熔接はすべて下向きで作業できるため作業はきわめて容易である。熔接後定盤にこす束したまま応力除去焼なましを施した。第4図にベーンの肉盛り作業状況を示す。

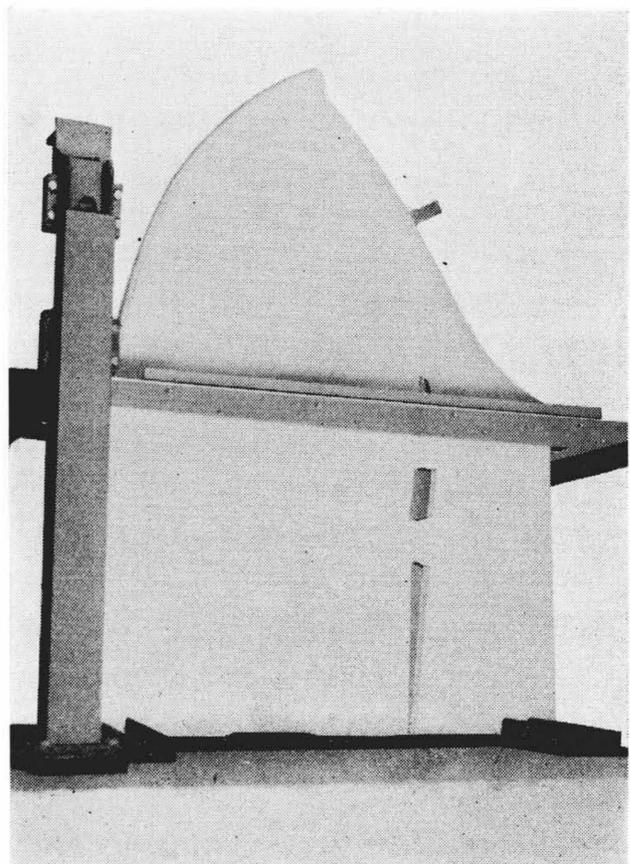
### 3.3 ベーンの検査

鑄造されたベーンは全数磁粉探傷試験によってきれつの検査を行った。また肉厚中心部の引け巣はγ線探傷試験によって調べた。その結果はまったく健全であった。

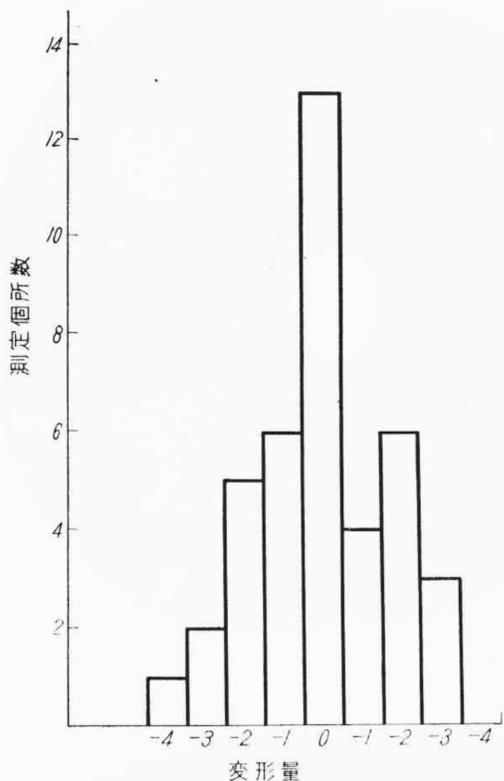
寸法は特殊なゲージによりプロフィール検査を行った。第5図にゲージによる測定状況を示す。

ベーンの鑄造時の変形はほぼ一定の傾向をもっている。すなわち水平断面方向の変形においても垂直断面方向の変形も曲面が全体として平板に近くなるように動いた。

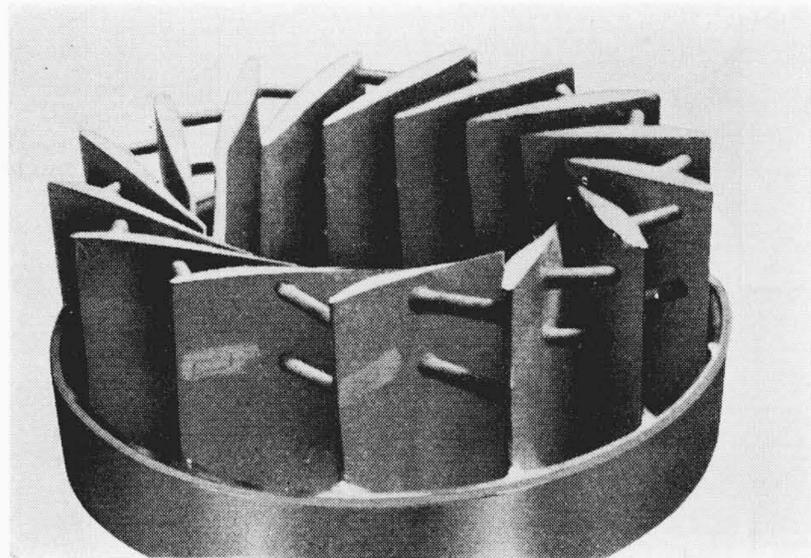
熔接時の変形は小さく各測定点における熔接前後の変形のばらつきは第6図に示すとおりである。



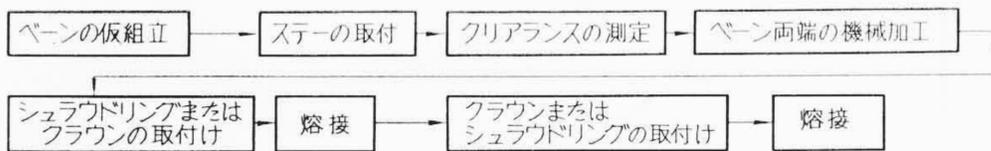
第5図 ゲージによる測定状況



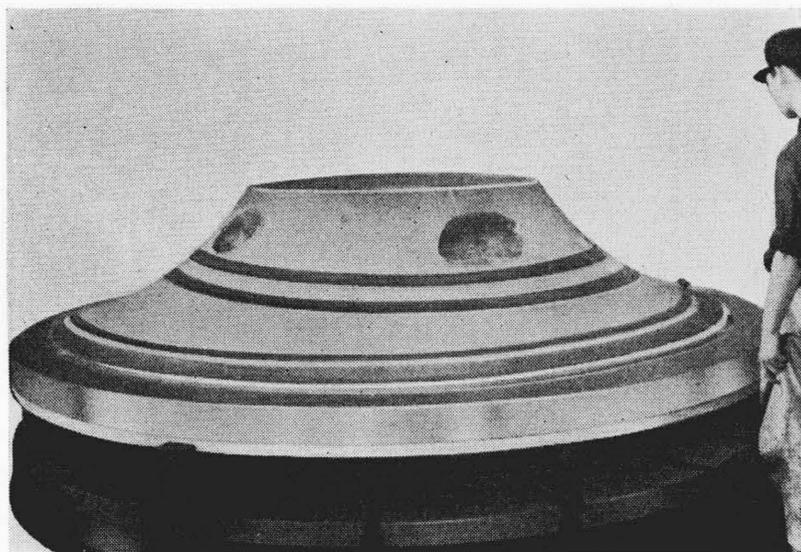
第6図 熔接前後の変形のばらつき



第8図 ペーンのクラウン側を機械加工した状態



第9図 ランナの組立て順序



第7図 機械加工されたクラウンプレート

### 3.4 組立 て

仕上げられた単独のペーンを平板上に所要の角度およびピッチに並べ、かつペーンの中央部および出口端にあらかじめもうけた基準点でペーンの傾き、高さ、およびクリアランスなどを所定の寸法に合わせてペーン間にステーを張って仮組立てを行う。仮組立後ペーンの両端をそれぞれ機械加工しクラウンおよびシュラウドリングの面に合わせる。第7図は機械加工されたクラウンを示す。シュラウドリングの形状によっては第8図に示すように、シュラウド側をまず機械加工し、ペーンとシュラウドリングを熔接し、ついでクラウン側を機械加工し、組立熔接することもある。組立順序の一例を図示すると第9図のとおりである。

### 3.5 熔接 施 工

ペーンとクラウンおよびシュラウドリングとの継手は、T継手でK形またはレ形の突合せ熔接とし、ウラはつりを行い完全突合せがよい。熔接作業は安定して行えることが第一条件で、このため極力ポジションなどを利用して下向き熔接で行えるよう配慮すべきである。熔接棒は低水素系を使用し、ウラはつりにはアークエアガウジングまたはガスガウジングを利用し、初層および最終層を除き中間層は適宜ピーニングを併用する。熔接中はクリアランスを測定し、ペーンの変形状態を確認することが大切である。大形ランナでは外的こう束力が大きく、初層にきれつを生じやすいので初層部およびウラはつり部は滲透検査または磁粉探傷できれつの有無を確認し、中間層も適宜磁粉探傷を実施して完全な熔接部にすべきである。施工時の層間温度管理も大形では特に重要である。第10図に熔接積層法の一例を示す。

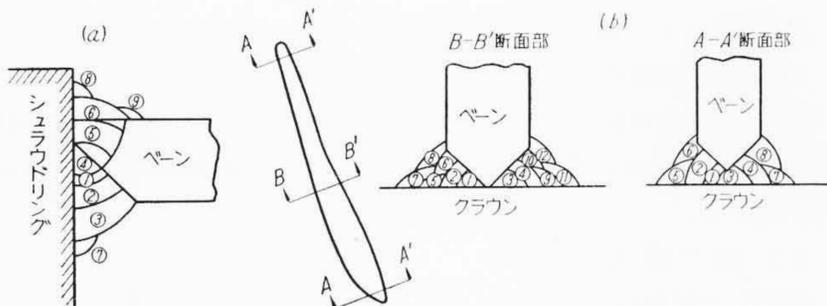
### 3.6 継手の疲労強度

熔接継手形状および開先寸法の決定にあたっては施工上の問題のほかにその疲労強度をも検討し、最良の継手形状とすべきである。筆者らは両振り曲げ疲労試験によって種々の継手の疲労試験を実施した。その一例として、第11図に示す開先形状の強さを比較してみると、第12図のような結果が得られる。

ランナに対しては運転上疲労強度を重視せねばならぬことは当然で、継手形状についても十分な配慮が必要であることがわかる。

### 3.7 熔接部の非破壊検査

一般に鋼板のT継手において熔接部に適用される非破壊検査法としては種々の方法があるが、ランナのように形状が不規則で、かつ



層 数	棒径(mm)	熔接電流(A)
1~2	4	160~190
3~6	5	190~230
7~9	3.2	90~120

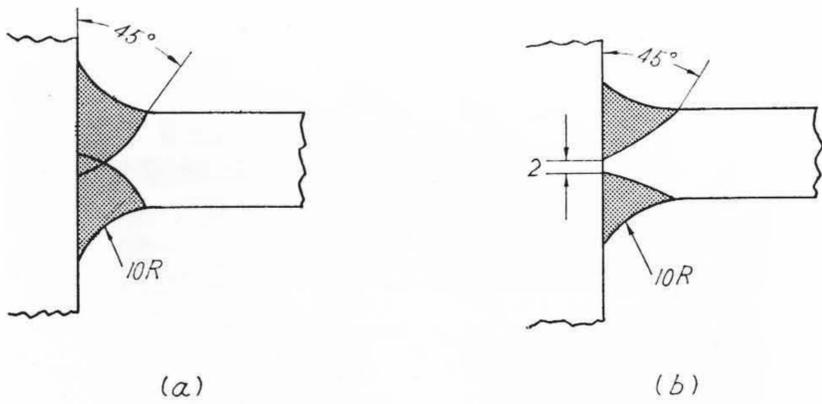
熔接棒 D 4316 形

BB' 断面部			AA' 断面部		
層 数	棒径(mm)	熔接電流(A)	層 数	棒径(mm)	熔接電流(A)
1~4	4	160~190	1. 4	4	160~190
5~6	5	190~240	5. 7	5	190~240
8. 12	4	160~190	6. 8	4	160~190

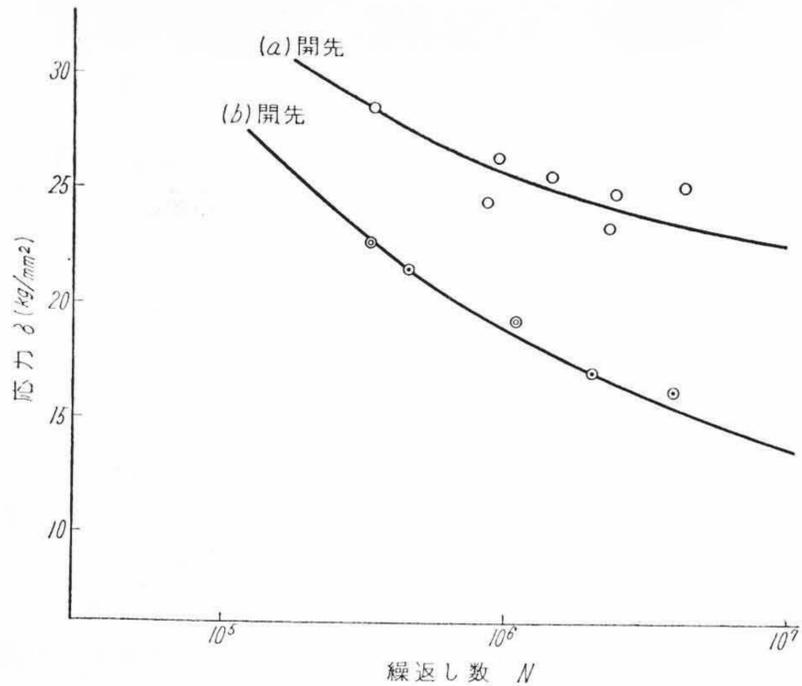
熔接棒 D 4316 形

(a) シュラウドリング側 (b) クラウン側

第10図 熔接積層法の一例



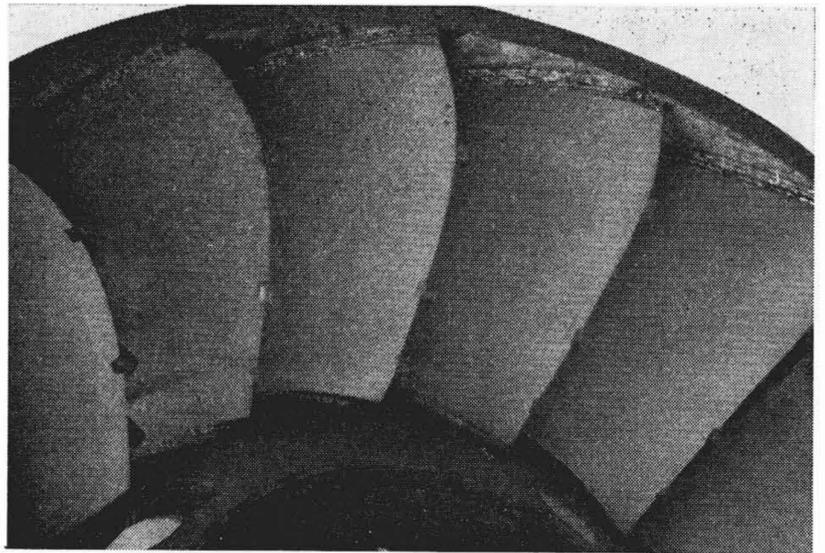
(a) K形完全突合わせ (b) K形突合わせ  
第 11 図 両振り曲げ疲労試験片の開先形状の種類



第 12 図 両振り曲げ疲労試験結果  $\sigma-N$  曲線



第 13 図 熔接完成後のランナ



第 14 図 熔接完成後のランナ

鋳鋼と鋼板または鋳鋼同志の突合せでは放射線検査および超音波探傷と磁粉探傷を併用するのがよい。放射線検査は最も一般的であるが、超音波探傷法も操作の方法を適当にえらぶことにより利用することができる。鋳鋼品は鍛鋼か鋼板に比較して減衰が大きいモデルによる較正により判定精度は著しく向上する。一般に熔着量の多い T 継手ではフランジ側にビード下きれつの発生を招きやすいがこの検出には超音波探傷が適当であろう。熔接前開先面を透過検査または磁粉探傷で欠陥を確認し、かつウラはつり部も同様な検査を行うことも重要なことである。

3.8 熔接作業管理と作業記録

ランナのような回転体の熔接は一般の熔接構造以上にその作業は慎重かつ厳格でなければならない。すなわち熔接内部の微細な欠陥あるいは応力集中を起しやすい、表面状況なども静止体にはみられない大きな事故の原因ともなるので、作業指導者による徹底した作業管理が必要である。筆者らはこの具体的実施事項として作業指示

書、チェック票および特殊検査管理表<sup>(6)</sup>によって工程ごとの作業チェックを行い、かつ作業記録をとりつつ作業を進行する管理方式を採用している。

4. 熔接結果

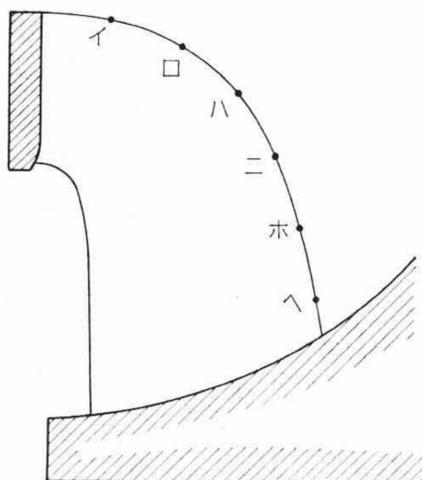
第 13 図および第 14 図は熔接完成後のランナを示す。

4.1 熔接前後のクリアランスの変化

第 15 図に出口径 3,200 φ ランナの熔接前後の出口クリアランスの変化を測定したが、仮組立時の寸法との差は約 2 mm におさえることができた。

4.2 応力除去焼鈍

650°C で保持時間はペーンのクラウン側の板厚を基準にして 25 mm につき 1.5~2 時間とし、一般に採用されている 1 hr/25 mm よ



(単位: mm)

測定位置	組立て完			片側熔接完			全熔接完		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
イ	170.5	171.5	169.0	173.5	173.5	170.5	173.0	172.0	168.0
ロ	146.5	146.5	143.0	148.5	147.5	145.0	148.5	147.5	145.0
ハ	134.0	134.0	130.0	135.5	134.5	131.0	134.5	134.0	130.5
ニ	126.0	126.0	124.0	126.0	126.0	125.0	126.0	126.0	123.0
ホ	132.0	131.5	132.0	133.0	133.0	133.5	133.0	131.5	131.0
ヘ	138.0	142.0	143.5	140.0	143.5	143.0	139.5	142.0	141.0

表中 1, 2, 3 はペンの番号を表す

第 15 図 出口径 3,240 mm φ ランナの熔接前後のクリアランスの変化

り長く保持している。サーモカップルは製品に6点取り付け各部の温度分布が均一に保持されるよう配慮している。ナマシ炉は電気炉を使用した。

5. 結 言

以上熔接構造ランナの製作の概要を説明したが、要は熔接作業が安定し欠陥のない熔接部を得ることではなければならない。特に材質が特殊鋳鋼の場合には熔接性を考慮して熔接すべきである。ペーンを鋳鋼製にしても鋼板製にしても単独ペーンの品質精度が良好であることが組立上最も重要なことである。

参 考 文 献

- (1) F. Buckley: Fabrication of Water Turbine Components 1955 IIW 報告
- (2) Many Advantage Gained when Redesigning Turbine Runner weld Fabrication Welding Engineer Feb. 1960
- (3) 妹島, 外岡: 熔接構造水車ランナ製作 日立製作所日立工場研究報告 990号 p. 32
- (4) The Stornorrffors Turbines: Water power April 1957
- (5) 日立製作所技術管理部: 鋼材熔接部の非破壊検査適用基準委員会報告 531号
- (6) 海野, 鳥海: 熔接部非破壊検査管理法 日立製作所日立工場研究報告1160号



特 許 の 紹 介



特許第244757号

伊 藤 晃 二

油 圧 追 従 機 構

配圧弁のパイロットバルブに与えられた指令に、サーボモータのピストンを追従させる油圧追従機構においては、追従動作を安定に保つために配圧弁とパイロットバルブの間には、ある程度のラップを設けることが必要である。しかしこのラップは、一方では指令と追従の関係にずれを生じさせることになり、いわゆる機構の感度を悪くすることになる。したがって、この種の油圧追従機構としては、動作安定にして高感度のものをうるために前記ラップが十分に確保され、時間的には、きわめて短時間にこのラップが切れることが好ましいことになる。

本発明は、この点の解決を目的とするものであって、外部からの指令をパイロットバルブに伝達する機構内に指令量を拡大して、パイロットバルブに伝える機構を設け、サーボモータと前記指令伝達機構との間に、サーボモータの動作が前記指令の拡大を緩和するように作用する機構を設けることにより、指令が配圧弁のラップをはずすまでの間は、指令量が拡大してパイロットバルブに伝えられ、ラップがはずれてサーボモータを動作するに至ってからは、前記の拡大を緩和するようとしたものである。

図で1はパイロット、2は追従ピストン、3は固定シリンダ、4はロッド、5, 6, 7はロッド4に与えられ指令量を拡大してパイロット1に加えるためのリンク機構であり、リンク5, 7の各レバ比  $b/a$ ,  $d/c$  を大きくとることによりパイロットに加えられる操作量  $\xi'$  は  $\xi$  に対して  $\xi' = \xi \cdot b/a \cdot d/c$  の関係で拡大して伝えられる。ラップがきれてピストンが動き始めるとリンク7の中央支点が動き始めるからパイロットにはピストンの動き  $\mu$  が影響しパイロットの動きは  $\xi' = \xi \cdot b/a \cdot d/c - \mu \cdot \frac{c+d}{c}$  の関係で緩徐なる動きを行うようになる。

(高橋)

