
大形鑄造品特集

大形蒸気タービン用鑄鋼品の鑄造.....	63
18 Cr-8 Ni ステンレス鑄鋼製大形ポンプ水車用ランナの鑄造	67
各種タービンなどに用いられる鑄鉄鑄物部品の製造.....	71
鑄鉄, 鑄鋼の肉厚感受性.....	76
計算機による鑄物の凝固速度の推定.....	82
流動 N プロセス	87

大形蒸気タービン用鋳鋼品の鋳造

Casting Practice of Alloy Cast Steels for Large Steam-turbine

鷺山重也*
Shigeya Sagiyama

星昌*
Akira Hoshi

早川巖*
Iwao Hayakawa

長尾昇平*
Shôhei Nagao

大島俊彦*
Toshihiko Ôshima

要 旨

大容量の蒸気タービン用鋳鋼品は高温、高圧の蒸気にさらされる過酷な使用条件下にある。そのためこれら鋳鋼品には最高の品質と信頼性が要求される。

日立製作所勝田工場では、長年の研究と経験をもとにタービンケーシング、バルブ、スチームチェストなど大形蒸気タービン用鋳鋼品を鋳造してきた。本稿は鋳造作業の実際と熱処理や溶接作業についてその概要を述べたものである。

1. 緒 言

火力発電所の建設はきわめて急速に行なわれ、その容量も年々増大の一途をたどっており⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾最近では単機容量 600MW のタービンまで出現している。

蒸気タービンのケーシング、バルブ、スチームチェストなどは高温強度の高い合金鋳鋼で製造される。これらの鋳鋼品は高温、高圧の蒸気を内蔵する圧力容器で、ことに大容量のタービンにおいては蒸気条件もきびしく鋳鋼品の重量も大きいものとなる。そのため信頼性の高い製品を作るには高度の技術と豊富な経験、そしてたゆまぬ研究と各種の新鋭設備を必要とする。

以下大形蒸気タービン用鋳鋼品の鋳造についてその概要を述べる。

2. 蒸気タービン用鋳鋼品の材質⁽⁴⁾

蒸気タービン用鋳鋼品として用いられる材質はその部分の蒸気温度によって定まる。表1はそれをまとめて示したものである。

大容量の蒸気タービンでは熱効率を良くするため、たとえば亜臨界圧プラントでは蒸気温度 566°C、圧力 246 kg/cm² ときわめて高温、高圧の蒸気を使用する。したがって蒸気温度の高いバルブ、スチームチェスト、高圧内部ケーシングなどには Cr-Mo-V 鋳鋼が用いられる。そのほかの温度の比較的低い部分には Cr-Mo 鋳鋼が使用される。

日立製作所日立研究所では各種のタービンケーシング用鋳鋼について、温度、荷重を種々変えた場合のクリープ特性を広範囲に調査している。図1はマスター破断曲線の一例であるが、1Cr-1Mo-1/4V 鋳鋼のクリープ特性はほかにくらべて良好であることを示している。将来蒸気条件はさらにきびしくなることが予想されるので 12% Cr 系および Cr-Ni 系オーステナイト系耐熱鋳鋼についての研究が進められている。

3. 鋳 造 方 案

使用条件が過酷なタービン用鋳鋼品の鋳造に当たっては、信頼性の高い鋳物を作ることを第一に考えなければならない。そのため鋳造方案は蓄積された経験と最新の研究成果とをもとにして慎重に決定されねばならない。特にその基本の考え方はあらゆる鋳物の部分において方向性凝固⁽⁵⁾をさせ、ち密な鋳物とすることにある。

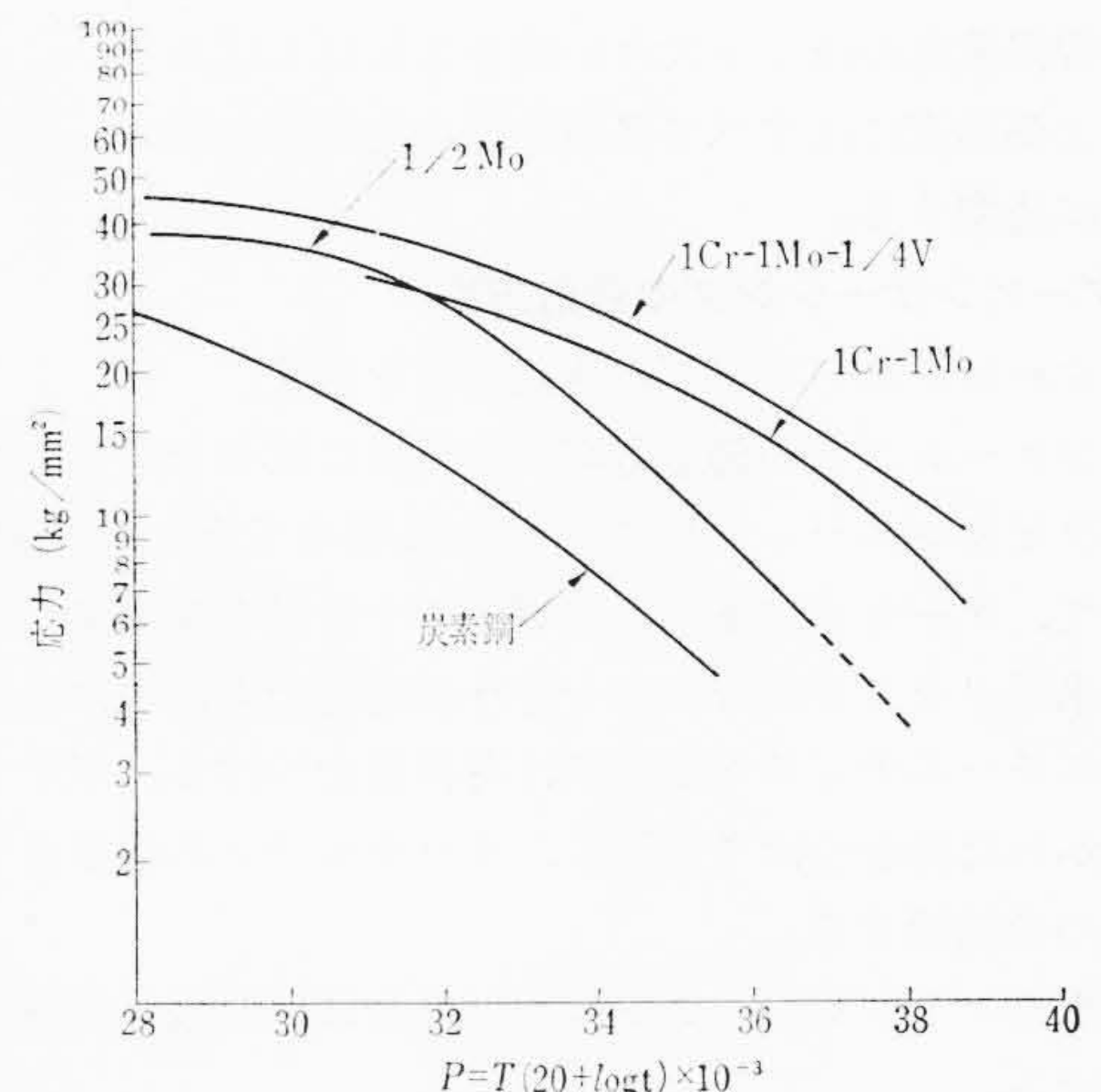
たとえばタービンケーシングにおいては図2に示すようにケーシングのシェルに沿って水平フランジ部よりその断面がしだいに小さ

くなるようにだ肉をつけ、鋳込時には高温の湯が押湯へはいるように湯口系を設計しなければならない。

押湯は十分な量を各主要部につけるため、形状によっては製品重

表1 スチームタービン用鋳鋼品の標準材質

蒸 気 温 度	使 用 材 質	該 当 規 格
370°C 以 下	炭 素 鋼 鋳 鋼	JIS SC-46 ASTM A27
371~480°C	1/2 Mo 鋼 鋳 鋼	JIS SCA-41 ASTM A356 Gr2
481~594°C	1Cr 1Mo 鋼鋳鋼または 1Cr 1Mo 1/4V 鋼鋳鋼	ASTM A356-60T, Gr 8 ASTM A356-60T, Gr 9



P: パラメータ
T: ランキン絶対温度 (°R = °F + 460)
t: 時間 (h)

図1 タービンケーシング材のクリープ特性

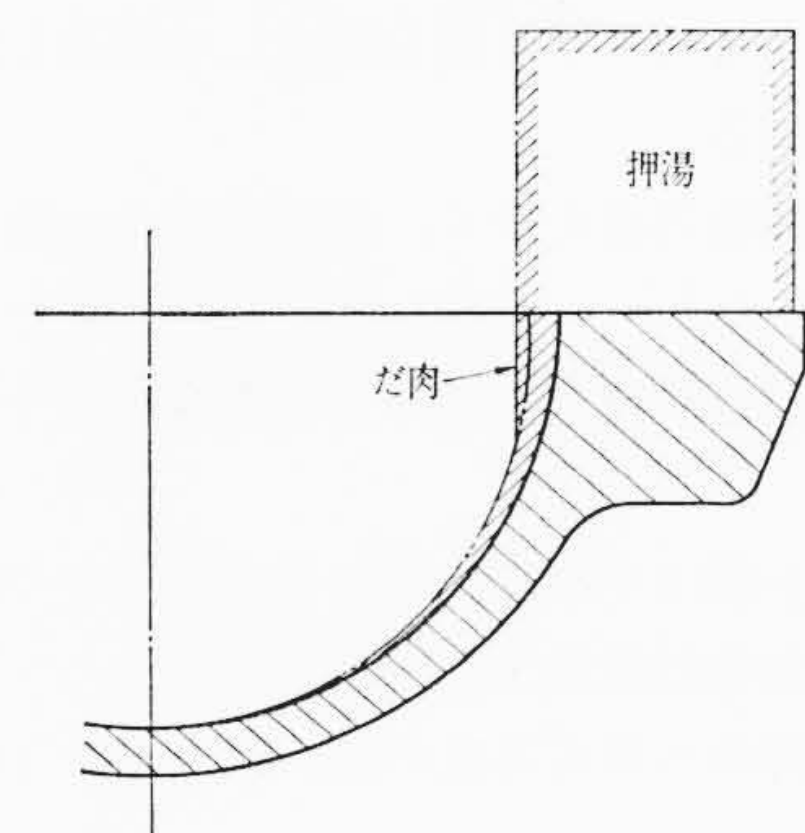


図2 タービンケーシングのシェルにつけるだ肉

* 日立製作所勝田工場

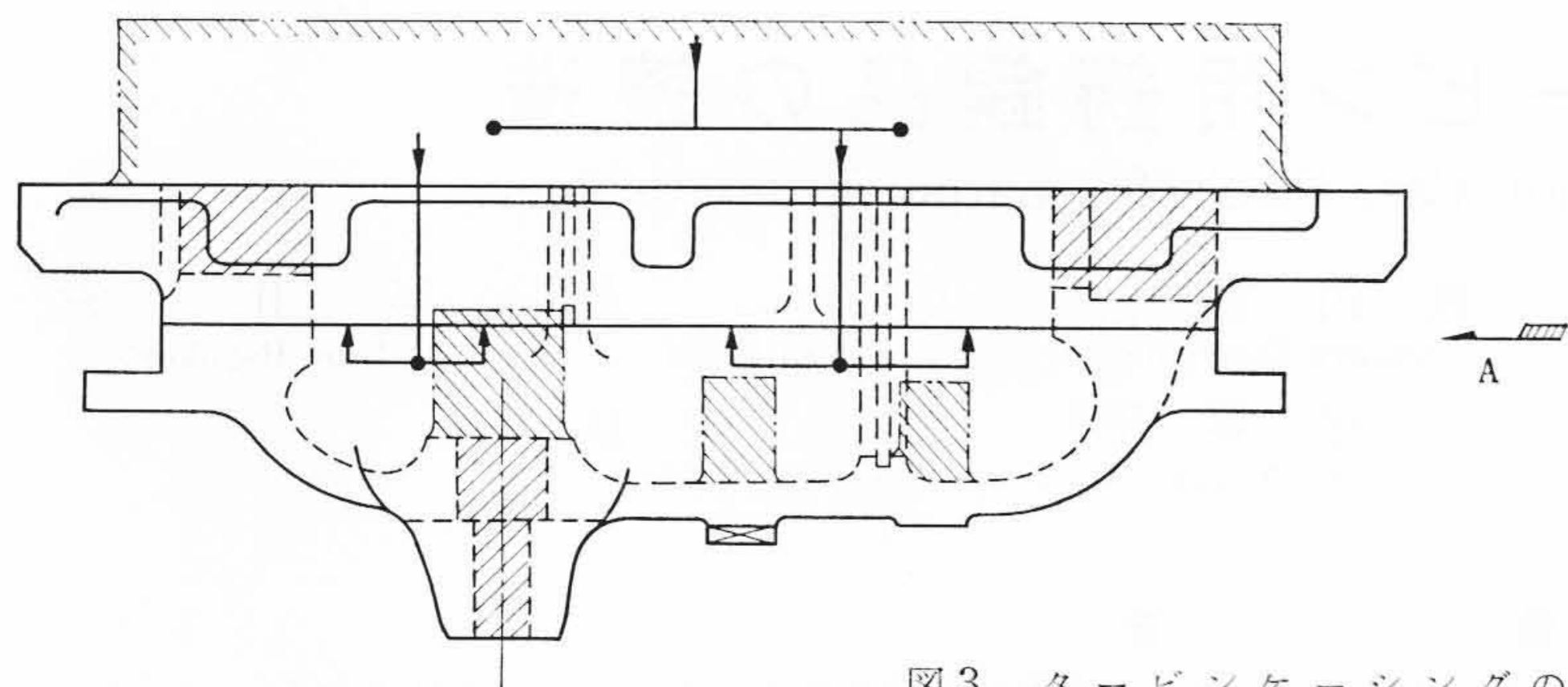
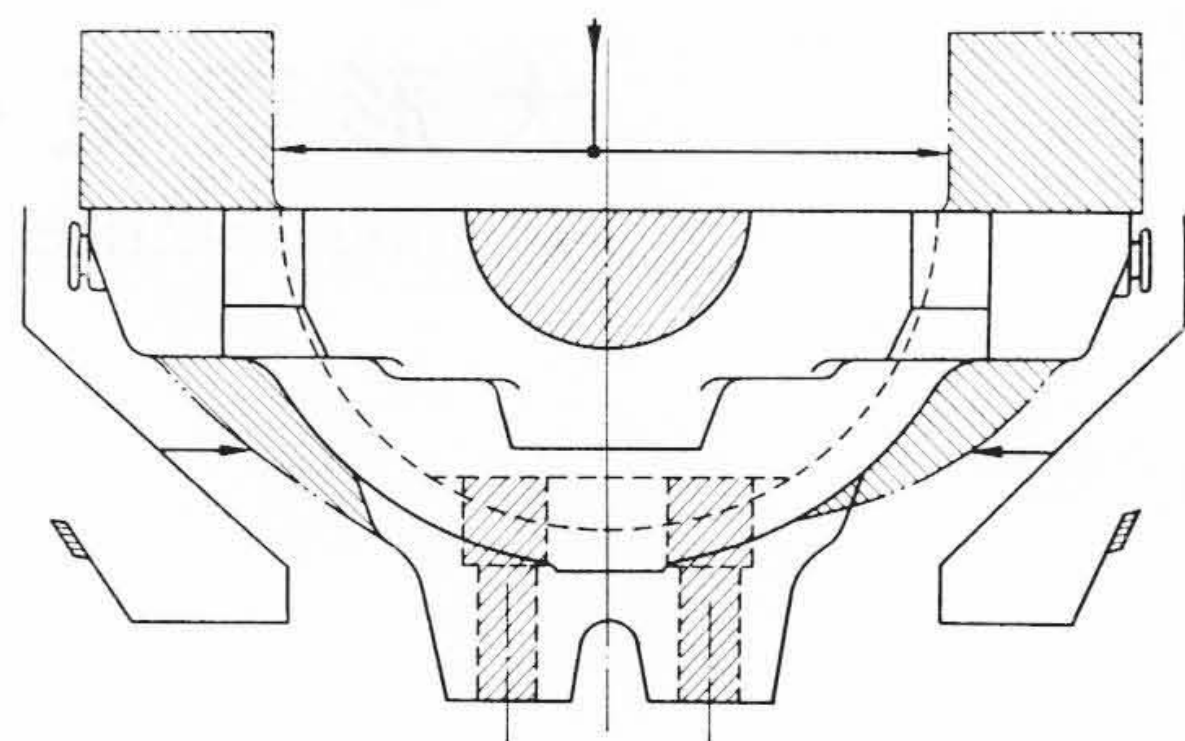


図3 タービンケーシングの鑄造方案



A矢視

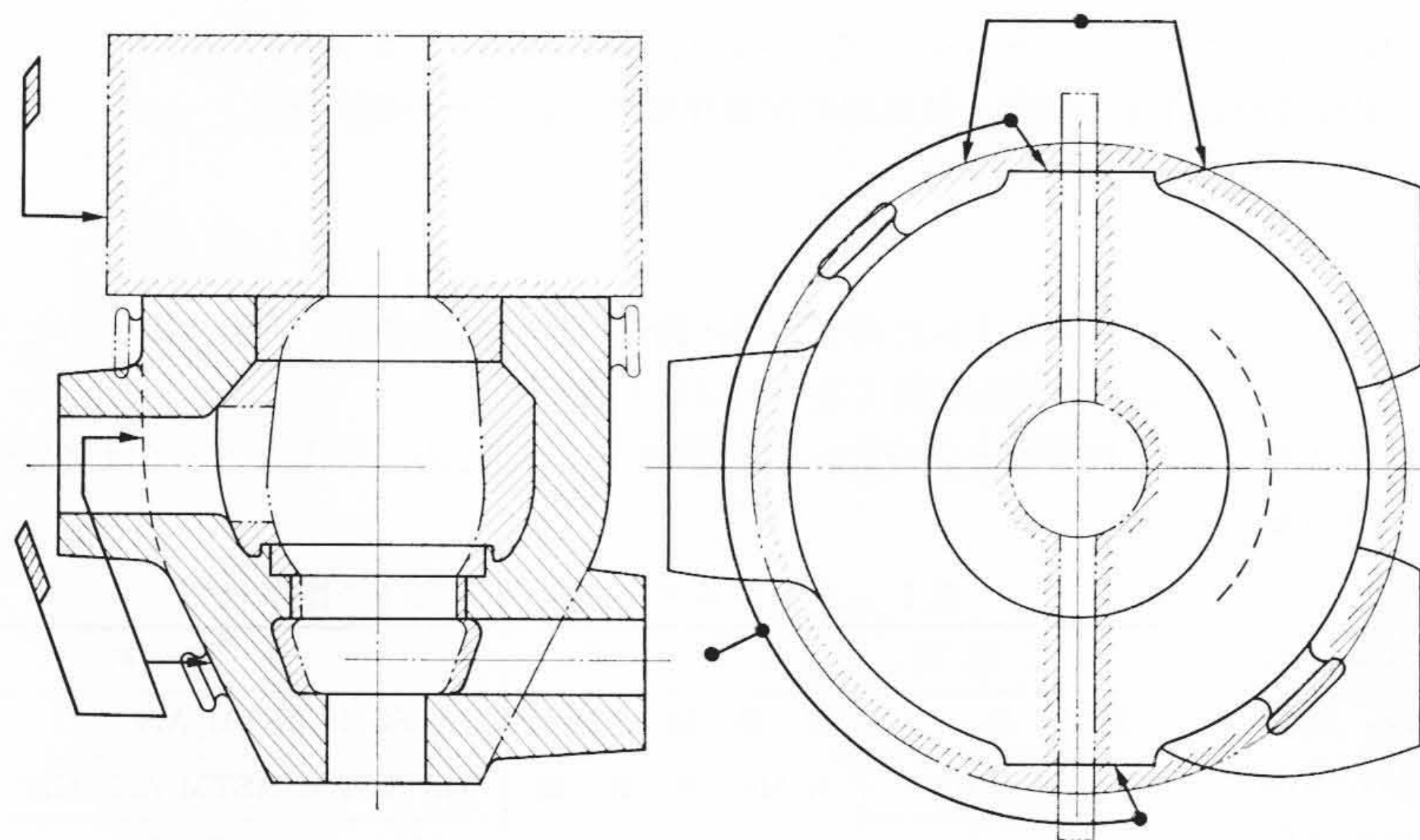


図4 バルブの鑄造方案

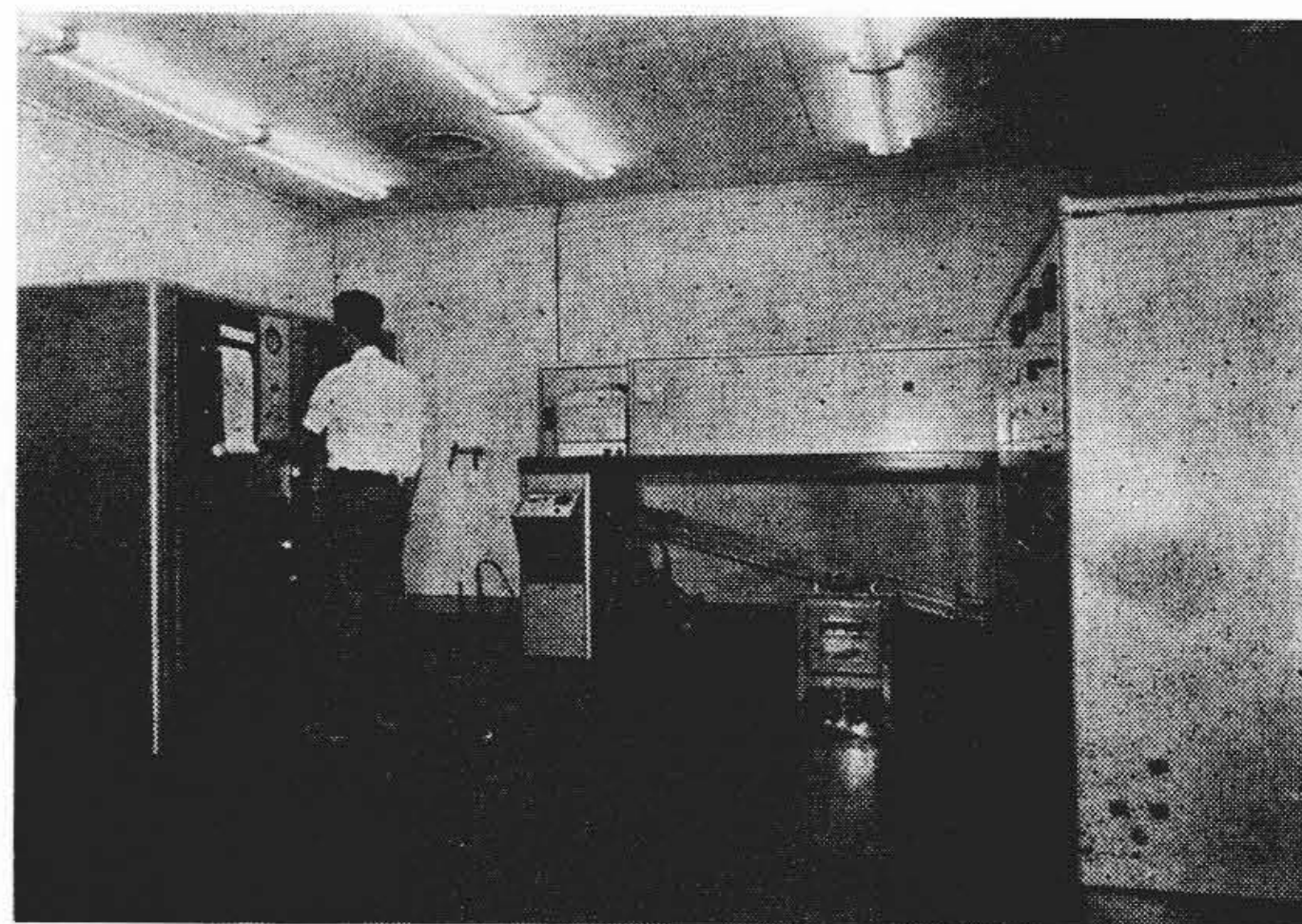


図5 直読式発光分光分析装置(カントバック)

量よりも押湯重量のほうが大きい場合もしばしばある。

湯口および湯道にはすべて良質の耐火物の管を用い、砂の混入がないように造型する。

3.1 タービンケーシングの鑄造方案

図3にタービンケーシングの鑄造方案を示す。

タービンケーシングの鑄造方案上の要点は次のとおりである。

- (1) ラビリンスパッキングの部分は埋めてその上に押湯を立て、ケーシング下部の肉厚部に十分湯を補給する。
- (2) 水平フランジ部分には十分な押湯を全面につける。
- (3) スチームチェスト部分には盲押湯をつける。水平フランジからだ肉をつけて給湯し、またラビリンス部分よりだ肉をつけ補給する。
- (4) 水平フランジからシェルへの移りには急激な肉厚変化をさける。
- (5) 湯口系は高温の湯が押湯を満たすように設計する。
- (6) 各主要部分には盲押湯を立て健全にする。

3.2 バルブの鑄造方案

バルブはボイラで過熱された最も高温、高圧の蒸気にふれる鑄鋼品である。したがってバルブは最も注意して製造しなければならない鑄鋼品の一つである。

図4にバルブの鑄造方案を示す。鑄造方案上の要点をあげると次のとおりである。

- (1) あらゆる部分が健全になるよう内面には十分のだ肉をつける。
- (2) バルブの上面は全面に十分な量の押湯をつけ、だ肉を通して各部に完全に給湯する。
- (3) 湯口系は押湯へ最も高温の湯がはいるように設計する。

4. 鑄造作業⁽⁶⁾

4.1 製鋼

製鋼用炉には塩基性電弧炉を用いる。塩基性電弧炉は脱硫、脱リンができ、成分と出鋼温度の調節が容易で、また正確にできるので高級鋼の溶解には最適な炉で、バルブなどのように重量の小さい鑄鋼品は所要の湯量が少ないので一基の炉で溶解するが、外部ケーシングのような大形の鑄鋼品では鑄込重量が80t以上にもなるので2~3基の電弧炉を使用するいわゆる“合せ湯”方式がとられる。合せ湯は各炉で化学成分、温度、タイミングをうまく合わせて出鋼させなければならないので高度の技術が必要である。

鋼中の不純物の除去を完全にするため2回除さいを行なう。酸化精錬は高圧酸素を鋼浴中に吹込み、高温沸騰酸化精錬をして水素並びに介在物の除去を図っている。

溶解作業中には炉中温度と成分の均一化のため十分にかくはんする。われわれの大形電弧炉にはインダクションスターラが設置され、電磁力により鋼浴をかくはんしている。

還元期には白色さいによる拡散脱酸を行なう。製鋼途上における成分のチェックは図5に示す直読式発光分光分析装置(カントバック)によりきわめて迅速に行ない、精密な調整がなされる。

鋼浴温度の測定はイメージンパイロメータにより随時行なわれる。最終脱酸剤としてはFeTiが用いられる。出鋼温度は1,580~1,600℃である。

4.2 鑄物砂

肌砂の骨材としてはケイ岩を破碎し、粒度を整えた高純度の人造ケイ砂を用いている。高純度のケイ砂と高耐火度の耐火粘土を粘結剤とし、各種の補助粘結剤を配合した肌砂を使用する。肉厚部あるいはコーナ部など湯の浸透するおそれのある所に使用する鑄物砂には高純度のケイ石粉を70%配合した耐浸透肌砂を用いる。

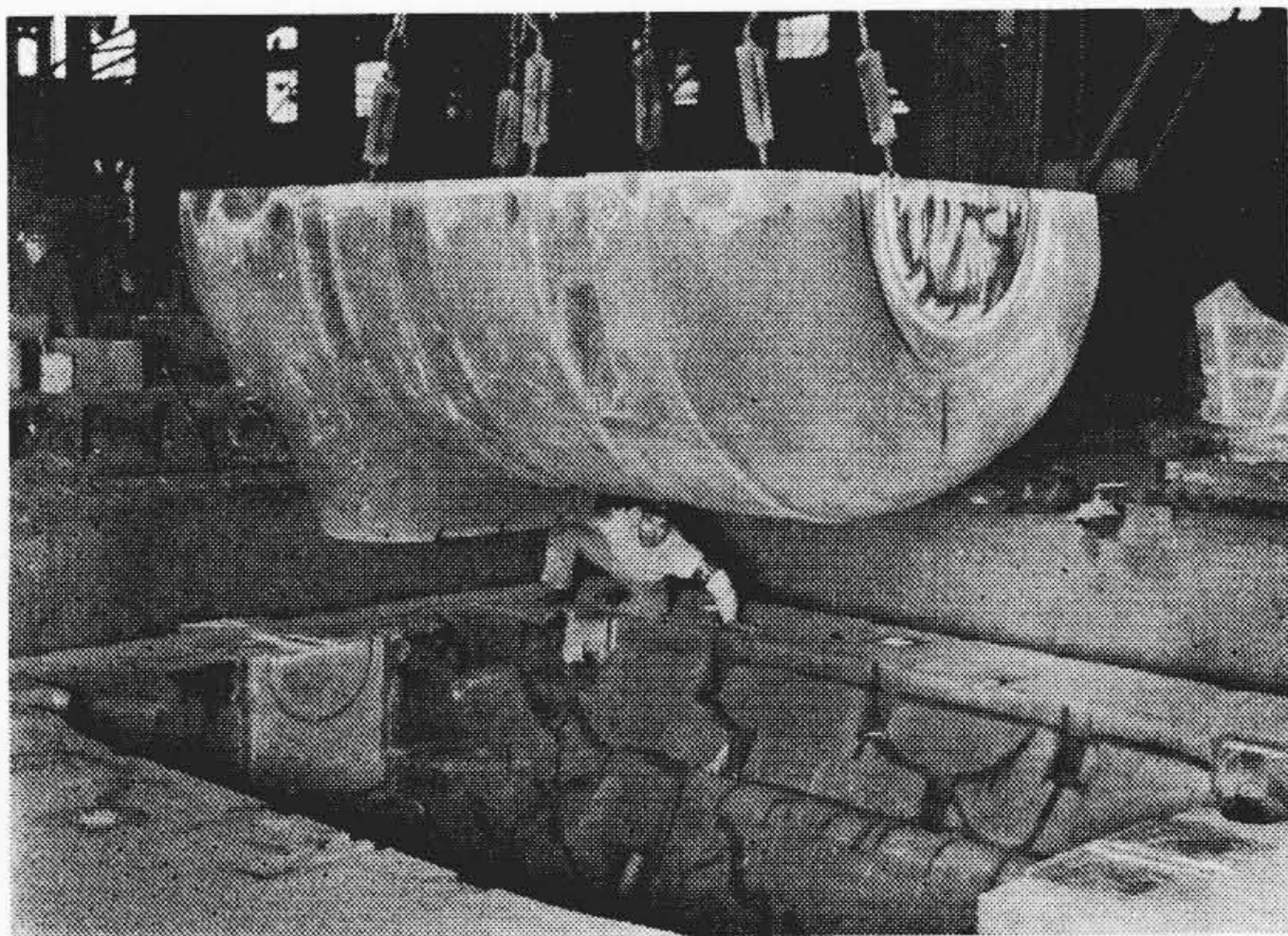


図6 タービンケーシングの鋳型

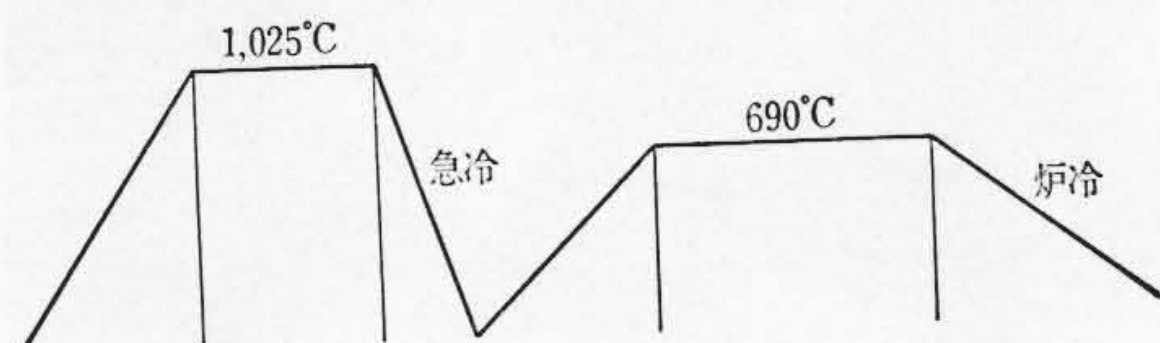


図7 Cr-Mo および Cr-Mo-V 鋳鋼の熱処理サイクル

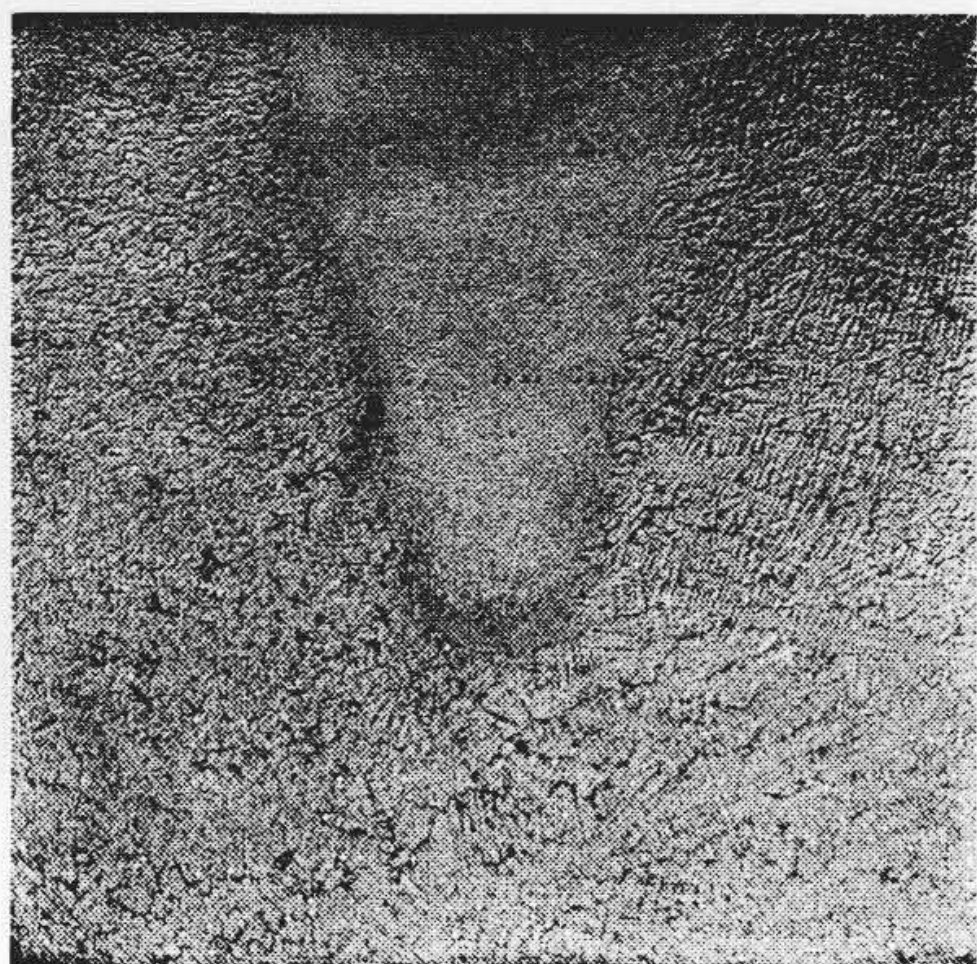


図8 溶接部のマクロ組織

塗型にはジルコン系塗物を水で溶いたものを用いる。

4.3 造 型

木型には現型を用いる。肌砂を各部均一につき固め、すくわれ、荒されなどの欠陥の発生しないよう細心の注意を払って造型する。

肌砂をつき固めたのち、サンドスリンガーで裏砂を十分かたく均一に詰めつける。造型後乾燥炉に入れて乾燥する。

図6にタービンケーシングの鋳型の一例を示す。

鋳込は計画に従ってストッパを次々に切り、最後に押湯を満たす。砂落しは鋳型内で徐冷し 300°C 以下になってから行なう。

5. 熱 処 理

Cr-Mo および Cr-Mo-V 鋳鋼は焼入焼戻の熱処理を行ない、均一な焼戻ベーナイト組織とする。これらの材料の熱処理の目的は十分な高温強度を発揮させることにある。高温のクリープ強度は焼入冷却速度によって大きく影響される。急冷するほど良いクリープ特性を付与することができる。

焼入はケーシング、バルブなどすべて炉より特殊の冷却装置上に移し、周囲より水噴霧ノズルにより各部均一に、しかも急速に冷却させる。焼入冷却速度は TTT⁽⁷⁾ 線図ならびに焼入状態図から適切な値に設定し、肉厚の差にかかわらず各部の冷却速度が一定範囲になるようコントロールしながら焼入を行なう。

図7に Cr-Mo および Cr-Mo-V 鋳鋼の熱処理サイクルを示す。

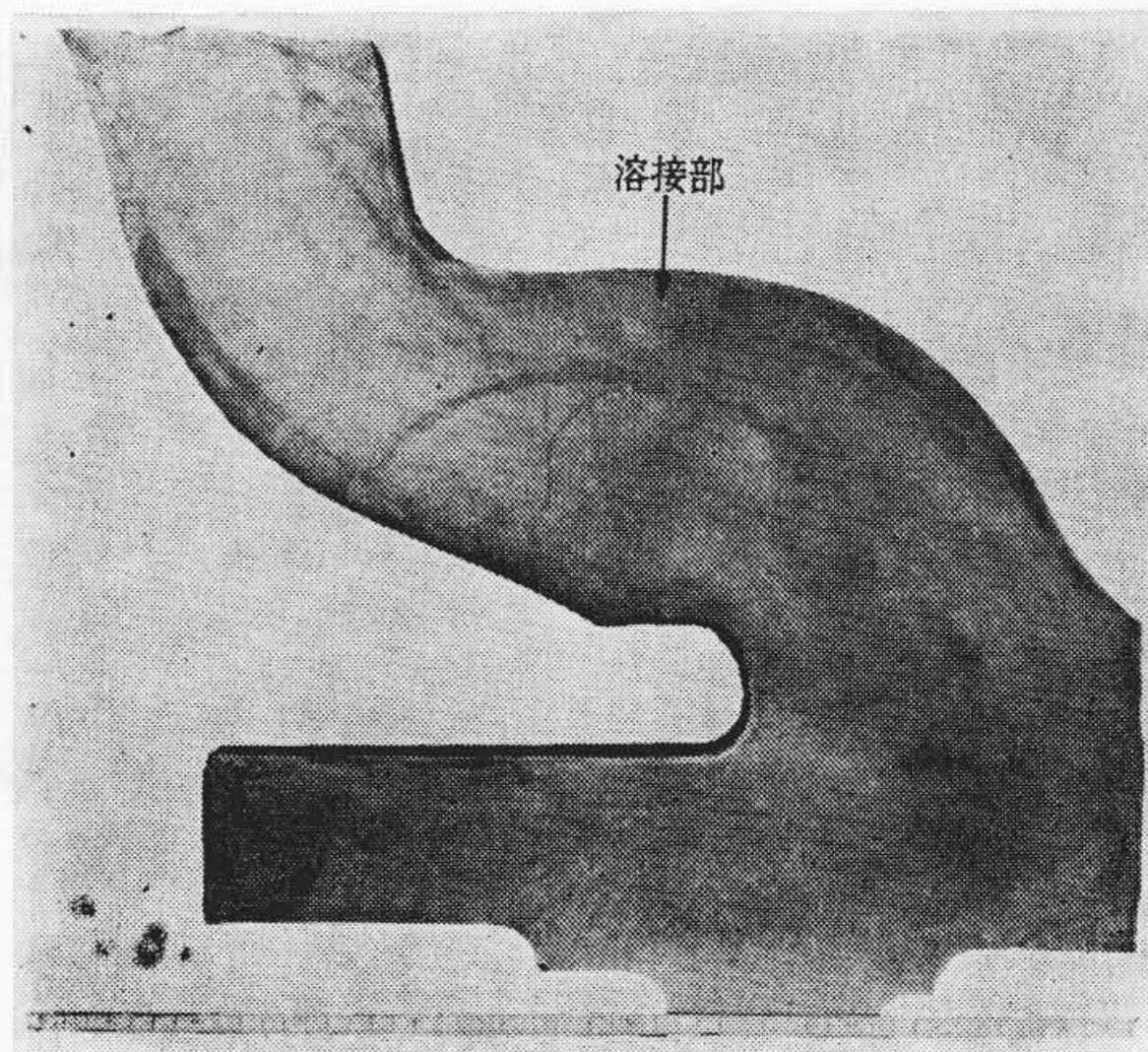


図9 溶接部継手実物大モデル

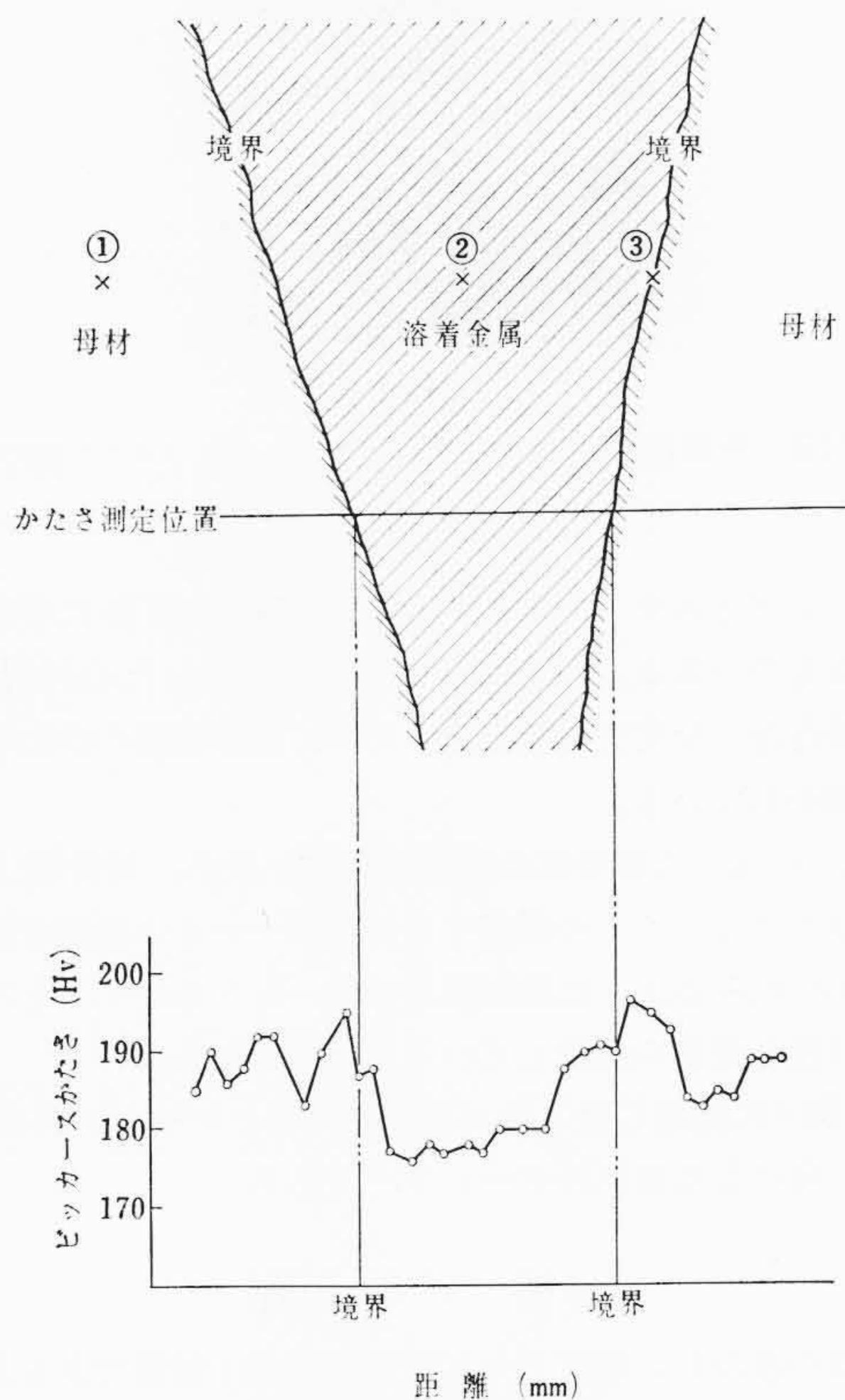


図10 溶接部かたさ分布

6. 溶 接⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾

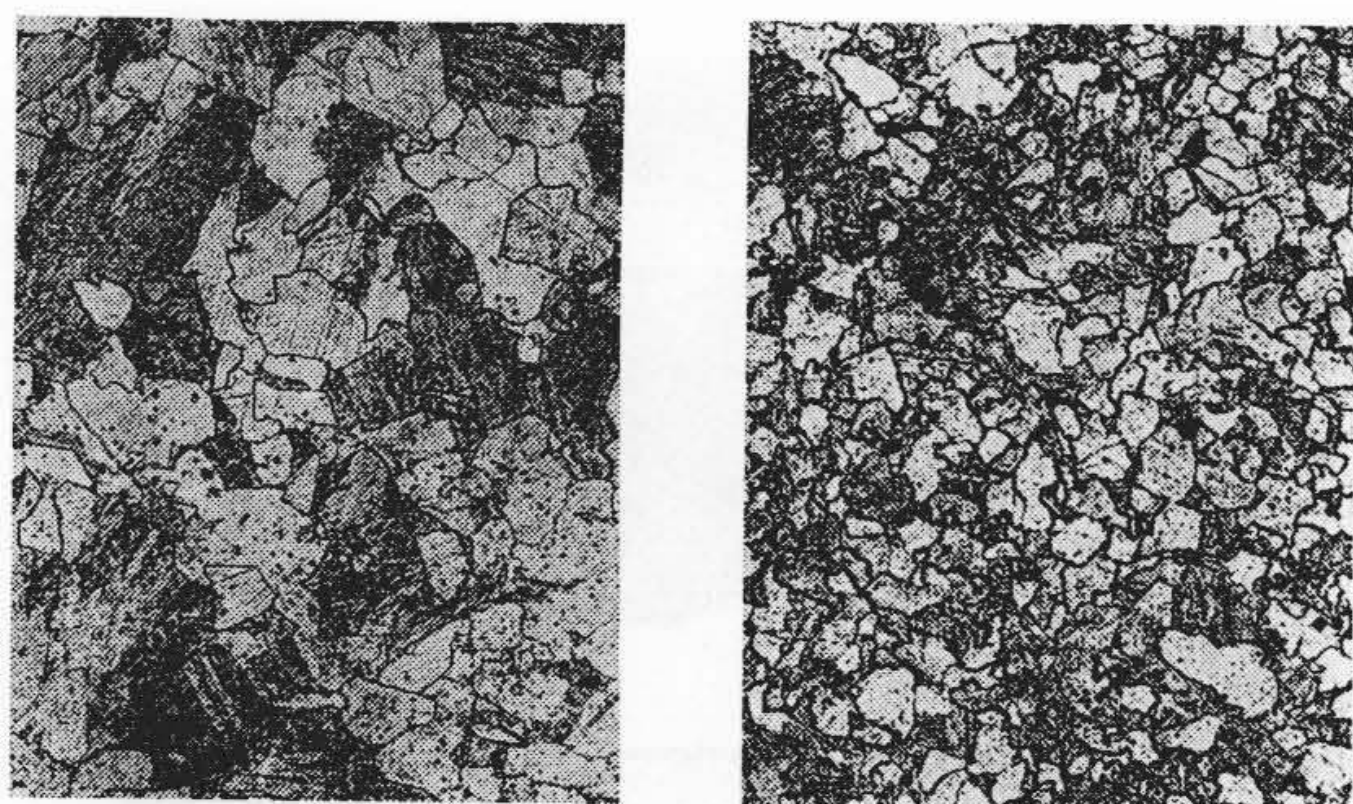
Cr-Mo および Cr-Mo-V 鋳鋼は焼入性にすぐれているため溶接熱影響部の硬化が著しい。したがって溶接時には適切な予熱と後熱処理をすることが必要である。手溶接で作業するときは必ず十分に乾燥した低水素系の溶接棒を用いる。

溶接作業は鋳物に検出された種々の鋳造欠陥の補修のみならず、複雑な形状の鋳物を単純な形の鋳物に分離鋳造し、それらを組合せ溶接のうえ一体とするいわゆる構造溶接が行なわれる。このような方法により各部品とも健全な鋳物を鋳造しやすくし、それらを完全に検査したのちに組合せ溶接することにより信頼性の高いケーシングやバルブを製造することができる。

予熱温度は一般に 200~300°C が採用されているが、被溶接物の拘束、肉厚の大小によって適当な温度が選択される。

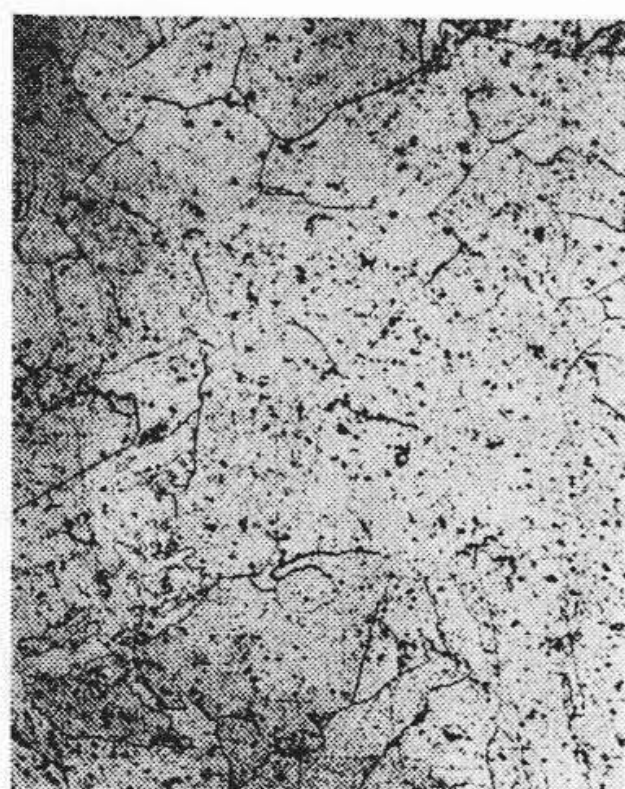
溶接後の熱処理は変態点以下に加熱保持する応力除去焼なましと、変態点以上に加熱する焼入焼戻の熱処理を施す場合がある。

図8は溶接部のマクロ組織を、また図9は 265MW タービンの高



(a) 母 材

(b) 溶 着 鋼



(c) 熱影響部

図 11 溶接部の顕微鏡組織 (×100) (5% ナイタル腐食)

圧外ケーシングとスチームチェストの溶接継手断面の実物大モデルを示したものである。それのかたさ分布を示したのが図 10 である。溶接後行なった完全な熱処理のため、熱影響部のかたさの異常ピークは消失している。

図 11(a)～(c)に溶接部の顕微鏡組織を示す。母材および溶着金属は島状のフェライトの混在する焼戻パーライト組織を呈している。図 11(c)にみるように熱影響部は均一なソルバイトとなっており靱(じん)性が完全に回復していることがわかる。

図 12は別々に鍛造したスチームチェストとケーシングを構造溶接により一体にした高圧外ケーシングである。

7. 検 査

使用条件のきびしい蒸気タービン用鋳鋼品は駆使できるあらゆる検査手段を用いてその品質を検査し完全に補修される。

黒皮面は熱処理終了後強力なショットブラストで表面を清浄にしたのちに検査される。表面の検査は最初肉眼で、ついで磁粉探傷検査により検査されき裂の有無が検出される。染色浸透検査はその補助手段として用いられる。

肉厚部の内部検査および表層部欠陥の検出のために特殊な探触子を用いた超音波検査も実施される。

内部検査および構造溶接部の品質の確認のため放射線検査が行なわれる。これによって ASTM および JIS の基準に合格するかどうかを確かめる。

検出された欠陥はその性質と大きさ、場所などに応じチッピングハンマやグラインダで取り除いたり平滑にしたり、溶接により補修したりする。補修後は再びその部分の検査が行なわれる。

図 13は磁粉検査の状況を示したものである。



図 12 構造溶接されたタービンケーシング

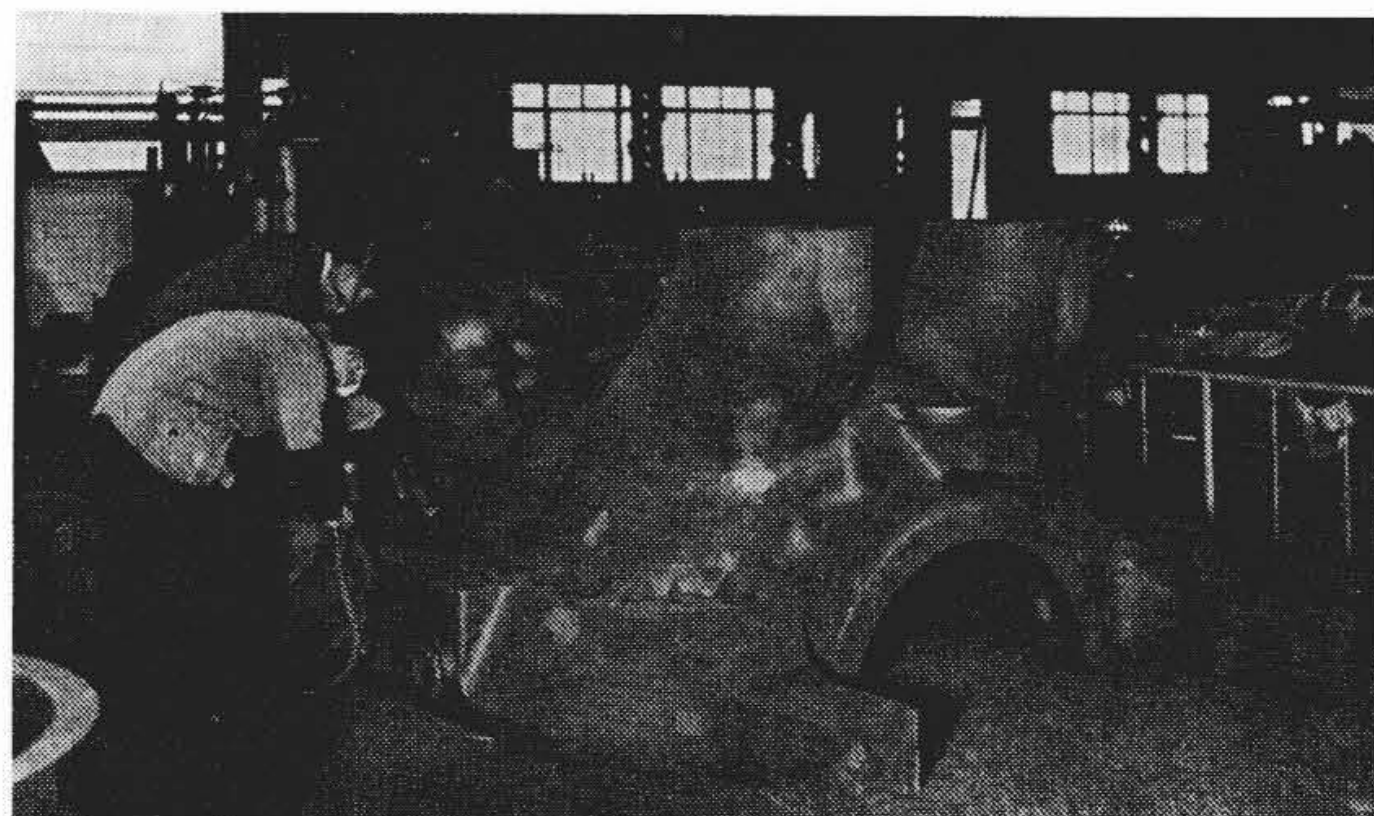


図 13 磁 粉 検 査

8. 結 言

以上大形タービン用鋳鋼品の鍛造についてその要点を述べた。今後、タービンの大容量化はさらに進み、蒸気条件もいっそうきびしくなるものと考えられる。われわれ素材部門を担当する者は需要者各位に信頼性の高い鋳鋼品を供給するため日夜努力を続けている。

幸い日立製作所は素材から製品まで一貫して製造する体制にあるので、研究、設計、現場が三位一体となり現在よりもさらにすぐれた鋳鋼品を提供するよう精進する所存である。

参 考 文 献

- (1) 柴田： 日立評論 別-37, 1 (昭 35-7)
- (2) 桑野： OHM 46, No. 13, p. 58～64 (昭 34-10)
- (3) 柴田： 日立評論 48, 735 (昭 41-6)
- (4) 久保田： 日立評論 44, 829 (昭 37-6)
- (5) R. Wlodawer： Directional Solidification of Steel Castings (1966)
- (6) R. H. Herrmann： Foundry 88, p. 72～75 (Jul. 1960)
- (7) N. A. Chapin ほか： W. J. 37, p. 979～987 (Oct. 1958)
- (8) 根本ほか： 日立評論 別-37, 93 (昭 35-7)
- (9) Staff of the S.F.S.A.： W. J. 40, No. 9, p. 928～933 (Sept. 1961)
- (10) R. J. Christoffel ほか： W. J. 37, No. 7, p. 295s～303s (Jul. 1958)