

各種タービンなどに用いられる鋳鉄鋳物部品の製造

Manufacture of Iron Castings for Turbine Parts

後 藤 仲 宏* 石 田 康 彦*
 Nakahiro Gotô Yasuhiko Ishida
 二 平 豊 治* 岡 田 千 里**
 Toyoji Nihira Senri Okada

要 旨

各種タービンなどに用いられる鋳鉄部品の材質にはネズミ鋳鉄と球状黒鉛鋳鉄とがある。これらの部品は形状が複雑で肉厚変動部が多く、重要な機械加工面は厚肉部となるため引け巣、粗晶が問題となる。また肉厚に比べ大きさが大なるため薄肉部のカス、吹かれなどの鋳造欠陥が生じやすい。球状黒鉛鋳鉄部品はフェライト化焼鈍による寸法変形などの問題がある。そのうえ一部の製品には油および空気ボックス部があり、鋳物の清浄作業上の問題もある。

これらの製造にあたり、溶解、鋳造方案および造型上の諸問題について試作を行ない製品のでき栄えを十分に検討し、その品質管理水準を決定するとともに製品の品質保証基準をも確立した。

1. 緒 言

各種タービンなどに用いられる鋳鉄鋳物部品は材質がネズミ鋳鉄および球状黒鉛鋳鉄とからなる肉厚変動部の多い形状の複雑な製品で、相手品との関係寸法が多くあり、しかも寸法的な余裕も少なく、黒皮面が薄肉で重要な機械加工面が厚肉部となる設計になっている。そのため寸法精度の問題、厚肉部の引け巣、粗晶の問題、薄肉部の鋳造欠陥に対する検討が必要であった。

さらに薄肉で形状の大きな球状黒鉛鋳鉄 (FCD-40) 部品は、従来の球状黒鉛鋳鉄材で鋳造するとフェライト化焼鈍による寸法変形の防止が必要であるばかりでなく、それに伴い作業工程が複雑化するおそれがある。また溶接補修を極度にきらう製品であるため鋳造方案はこの点を十分検討する必要がある。一部の製品に見られる油および空気ボックス部の複雑な小さい中子に生ずる浸透事故防止と崩壊性の改善を必要とした。

以上の問題点を解決するため、試作品について十分な検討を加え、その結果、製造作業基準ならびに品質管理水準が決定できるとともに製品の検査基準も確立した。

2. 試作による確認検討事項

製造に際し次に示す項目に対し試作を行ない、製品のでき栄えと検討項目との関係を調査した。

試作対象とした主要部品の概略図と仕様を示すと図1および表1のようである。

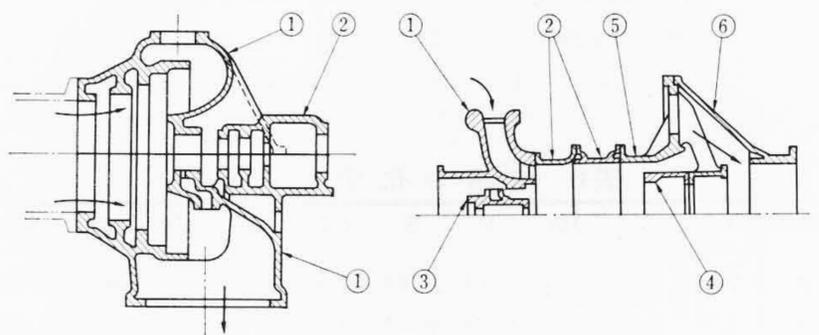
2.1 ネズミ鋳鉄部品の成分検討

各部品について薄肉部と厚肉部の硬度とCEとの関係を調査し、適正CE値を決めると同時に粗晶の生じやすい厚肉部には冷し金を適用して厚肉部の硬度低下がないよう計画した。

表2は低周波誘導炉により溶解したネズミ鋳鉄溶湯のCE値と肉厚による硬度差を示したもので、硬度の測定位置は仕上加工面である。

2.2 球状黒鉛鋳鉄部品の鋳放しフェライト化

従来フェライト形球状黒鉛鋳鉄は焼鈍により基地組織をフェライト化している。これを鋳放しでフェライト化ができれば、工程の短縮、焼鈍費の節減などが可能となる。焼鈍工程で発生する変形の問題を解決することができる。国外ではOB鉄⁽¹⁾、Sorel鉄など



① ケーシング A ② ケーシング B₁ ③ ケーシング B₂
 ④ ケーシング C ⑤ ケーシング D ⑥ ケーシング E

図1 主要鋳鉄鋳物部品の概略図

表1 主要部品の概略仕様

| 部品の種類 | 仕 様 | 材 質 | 機 械 的 性 質 | | | 鋳 造 肉 厚 | | |
|------------------------|-----|--------|----------------------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|
| | | | 引張強さ kg/mm ² | 伸び (%) | 抗折荷重 kg | たわみ mm | 主要肉厚 mm | 最大肉厚 mm |
| ケーシング A | | FC-20 | >20 | — | >900 | >4.5 | 25 | 180 |
| ケーシング B _{1,2} | | FC-20 | >20 | — | >900 | >4.5 | 45 | 80 |
| ケーシング C | | FC-30 | >30 | — | >1,100 | >5.5 | 45 | 85 |
| ケーシング D | | FCD-40 | >40 | >12 | — | — | 55 | 85 |
| ケーシング E | | FCD-40 | >40 | >12 | — | — | 30 | 100 |

表2 ネズミ鋳鉄部品のCEと硬度との関係

| 部 品 名 | 検 討 項 目 | 溶 湯 の 成 分 (CE値) | 硬 度 (Hs) | |
|------------------------|---------|--------------------|-----------|-----------|
| | | | 主 要 肉 厚 部 | 最 大 肉 厚 部 |
| ケーシング A | | 3.9 ~ 4.0 | 34~36 | 28~30 |
| ケーシング B _{1,2} | | 3.9 ~ 4.0 | 32~34 | 29~31 |
| ケーシング C | | 3.55~3.65 | 36~39 | 34~37 |

(注) 冷金を適用しない場合の測定値

によりフェライト形球状黒鉛鋳鉄を鋳放しで製造しているとの報告⁽²⁾⁽³⁾があり、国内でも低Mn砂鉄による球状黒鉛鋳鉄の鋳放しフェライト化の実用化試験報告⁽⁴⁾がある。今回、主要部品であるフェライト形球状黒鉛鋳鉄製ケーシングDおよびケーシングEを製造するにあたり、最近市販されるようになった国産の低Mn砂鉄を主体とする溶解法を検討した。その結果それらの製品を従来の製造法によるフェライト形球状黒鉛鋳鉄と比較してもまさるとも劣らない機械的性質をもつ鋳放しフェライト形球状黒鉛鋳鉄を製造することに成功した。

* 日立製作所勝田工場

** 日立製作所日立研究所

表3 材 料 配 合 (%)

| 溶解番号 | 種 湯 | 低 Mn 鉄 | ダクタイル鉄 | 鋼ダライ |
|------|-----|--------|--------|------|
| a | 20 | — | 35 | 45 |
| b | 22 | 78 | — | — |
| c | 12 | 88 | — | — |
| d | 11 | 89 | — | — |

表4 材 料 化 学 組 成 (%)

| 材 料 | TC | Si | Mn | P | S | Cu | Cr | V | Ti |
|-----------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 低 Mn 鉄 | 3.77 | 0.14 | 0.05 | 0.018 | 0.012 | 0.006 | 0.012 | 0.015 | 0.004 |
| ダクタイル鉄 | 4.18 | 1.89 | 0.25 | 0.063 | 0.012 | 0.018 | 0.008 | 0.013 | 0.080 |
| 鋼ダライ | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.01 | 0.01 | 0.2 | 0.1 | 0.03 | 0.001 |
| 種湯 (FC20) | 3.3 | 2.0 | 0.7 | 0.07 | 0.07 | 0.2 | 0.1 | 0.015 | 0.04 |

表5 球 状 化 処 理 要 領

| | |
|----------------------|------------------|
| 処 理 量 | 500 kg |
| OZ 添 加 剤 | 0.4% |
| (20-45)Fe-Si-Mg ブロック | 1.34% (0.27% Mg) |
| (75%) Fe-Si 接 種 | 1.0% |
| 出 湯 温 度 | 1,530~1,550°C |

表6 溶 湯 の 化 学 組 成 (%)

| 溶番 | TC | Si | Mn | P | S | CE | Ni | Cr | Cu | Sn |
|----|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|
| a | 3.69 | 2.68 | 0.45 | 0.021 | 0.010 | 4.56 | 0.12 | 0.06 | 0.11 | 0.017 |
| b | 3.70 | 2.60 | 0.24 | 0.048 | 0.011 | 4.57 | 0.08 | 0.04 | 0.08 | 0.010 |
| c | 3.58 | 2.64 | 0.16 | 0.026 | 0.009 | 4.46 | 0.08 | tr | 0.08 | 0.010 |
| d | 3.57 | 2.86 | 0.13 | 0.021 | 0.007 | 4.52 | 0.08 | tr | 0.10 | 0.010 |

表7 機 械 的 性 質

| 溶番 | 引張強さ kg/mm ² | 伸 び % | か た さ BHN | 衝 撃 値 kg-m/cm ² | 備 考 |
|----|----------------------------|----------|--------------|-------------------------------|-----|
| a | 79.2 | 4.8 | 255 | 0.38 | 鋳 放 |
| | 47.8 | 21.4 | 174 | 2.17 | 焼 鈍 |
| b | 59.2 | 11.0 | 199 | 0.65 | 鋳 放 |
| c | 50.2 | 20.1 | 177 | 1.96 | 鋳 放 |
| d | 53.8 | 20.4 | 187 | 1.52 | 鋳 放 |

2.2.1 低 Mn 鉄配合量の影響

低 Mn 鉄配合量の影響について検討するため2号低周波誘導炉により表3に示す材料配合で溶解を行なった。表4は溶解材料化学組成、表5は球状化処理要領、表6は溶湯の化学組成を示したものである。鋳込んだ試験片は図2に示す階段状試験片と JIS A号 Yブロックで、いずれも CO₂形である。階段状試験片から各肉厚の中心部(図2×印)の顕微鏡組織を調べた。Yブロックからは JIS 4号引張試験片と JIS 3号シャルピー衝撃試験片(Uノッチ付)を採取して引張強さ、伸び、常温衝撃値を測定し、引張試験片のツカミ部からブリネルかたさ、顕微鏡組織を調べた。それらの結果を表7と図3に示す。表7、図3の結果から表3のcあるいはdの配合で溶湯の Mn 量を0.13~0.16%程度に下げれば、Yブロックの冷却速度で十分鋳放しフェライト化ができることがわかった。

2.2.2 厚肉試験片による試験

2.2.1の結果に基づき図4に示す重量550kgの段付円筒試験片を用いてケーシングD、ケーシングEの肉厚と同様な肉厚における機械的性質を調べた。用いた溶湯の材料配合、化学組成はそれぞれ後述の表9のe、表10のeと同様なものである。球状化処

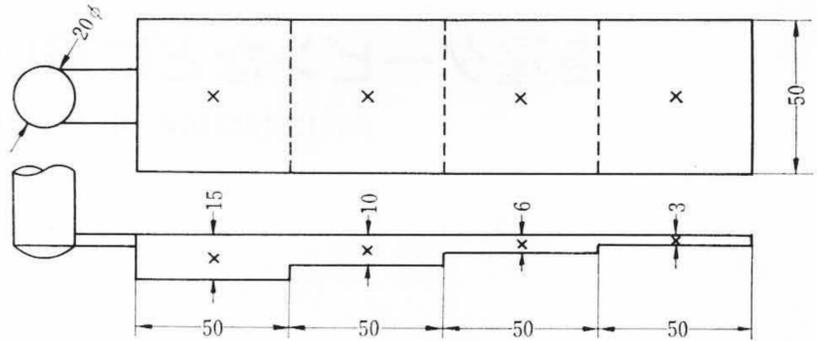


図2 階段状試験片 (単位 mm) CO₂ 形

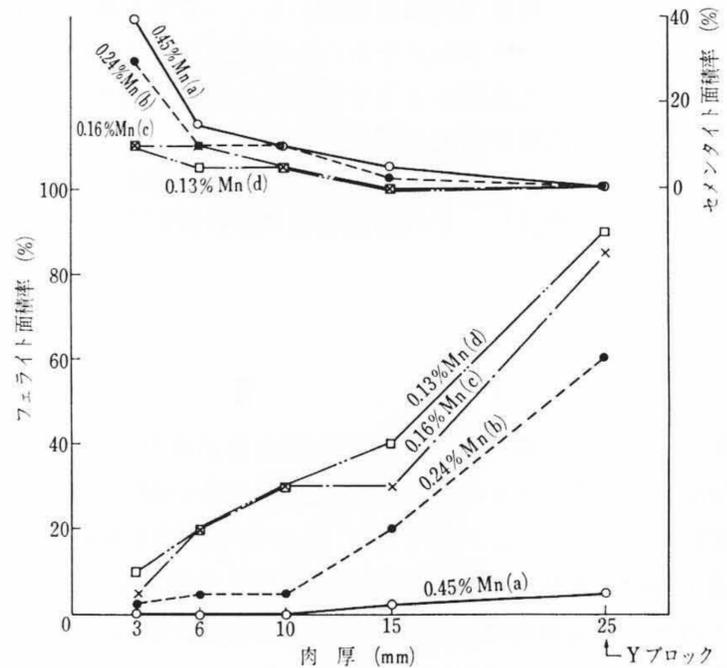


図3 肉厚と基地組織の関係 (低 Mn 鉄配合量の影響)

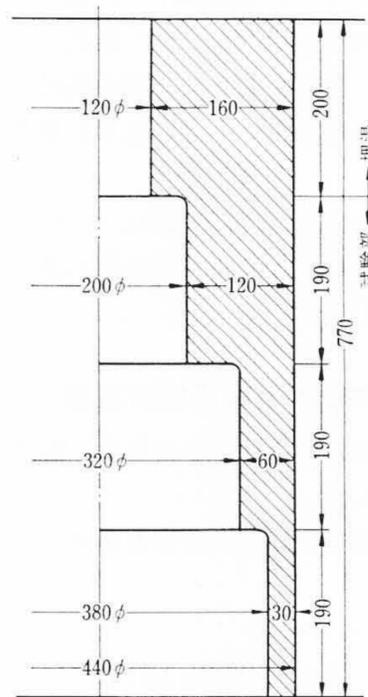


図4 段付円筒試験片 (単位 mm) CO₂ 形

理要領は前述の表5と同様であるが、肉厚を考慮して Fe-Si 接種は0.8%とした。比較のため表6のaと同様な化学組成をもつ溶湯も鋳込んでフェライト化焼鈍を行なった。機械的性質の調査方法は2.2.1と同様である。これらの試験結果を図5に示す。図5から低 Mn 鉄を主体とする溶解による鋳放しフェライト形球状黒鉛鋳鉄の機械的性質は、厚肉においても従来の製造法によるフェライト形球状黒鉛鋳鉄にまさるとも劣らないことがわかる。

2.2.3 製品への応用

前述の結果を製品へ応用した。溶解炉としては8号低周波誘導炉を用い、球状化処理を表8に示す要領で行なった。

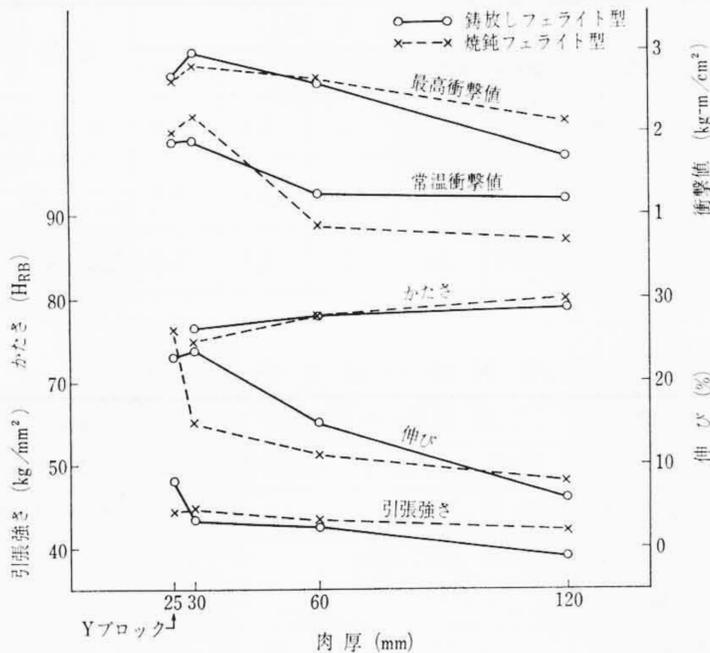


図5 肉厚と機械的性質の関係

(1) 戻材の活用

各部品の製造に際し戻材の活用を考えねばならないので表9に示す各種の配合を行なって、Yブロックおよび本体付試験片の機械的性質に及ぼす戻材配合の影響を調べた。その結果を表10の溶湯の化学組成、表11の機械的性質に示す。表10, 11から戻材を完全に活用できることがわかった。

(2) 顕微鏡組織

ケーシングEに鑄込んだ鑄放しフェライト形球状黒鉛鋳鉄のYブロック、本体付試験片および本体の顕微鏡組織の一例をそれぞれ図6~8に示す。参考までに焼鈍フェライト形球状黒鉛鋳鉄製ケーシングDの本体の顕微鏡組織を図9に示す。

(3) 鑄放しフェライト化の安定性

図10はYブロックおよび本体付試験片の機械的性質管理図であるが、非常に安定した状態を示している。

表8 球状化処理要領

| | |
|------------------|----------------|
| 処理費 | 4,000~4,500 kg |
| (20-45) Fe-Si-Mg | 1.4% |
| OZ添加剤 | 0.5% |
| (75%) Fe-Si 接種 | 0.8% |
| 出湯温度 | 1,490~1,510°C |

表9 材料配合 (%)

| 溶解番号 | 種湯 | 低Mn鉄 | 低Mnダクタイル戻材 |
|------|----|------|------------|
| e | 8 | 66 | 26 |
| f | 6 | 53 | 41 |
| g | 5 | 46 | 49 |

表10 溶湯の化学組成 (%)

| 溶番 | TC | Si | Mn | P | S | CE | Ni | Cr | Cu | Sn |
|----|------|------|------|-------|-------|------|------|----|------|-------|
| e | 3.63 | 2.80 | 0.14 | 0.018 | 0.010 | 4.56 | 0.08 | Tr | 0.03 | 0.005 |
| f | 3.67 | 2.58 | 0.14 | 0.016 | 0.012 | 4.53 | 0.02 | Tr | 0.02 | 0.006 |
| g | 3.56 | 2.71 | 0.14 | 0.020 | 0.004 | 4.46 | 0.12 | Tr | 0.03 | 0.004 |

表11 機械的性質

| 溶番 | Yブロック | | 本体付試験片* | | |
|----|----------------------------|---------|----------------------------|---------|-----------------------------|
| | 引張強さ kg/mm ² | 伸び % | 引張強さ kg/mm ² | 伸び % | 衝撃値 kg-m/cm ² |
| e | 52.6 | 20.0 | 41.6 | 27.4 | — |
| f | 53.6 | 22.8 | 47.1 | 25.2 | 2.25 |
| g | 51.6 | 21.2 | 44.5 | 25.0 | — |

* 30×30×200 mm 本体付

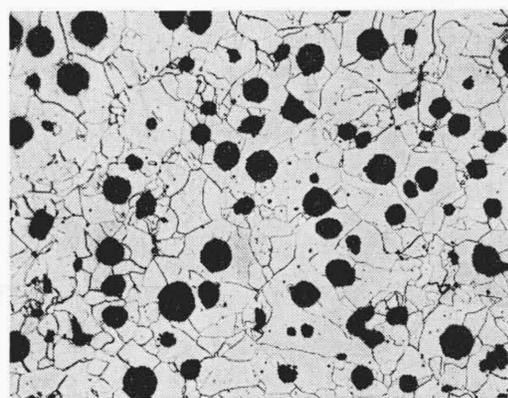


図6 Yブロックの顕微鏡組織 (×100)

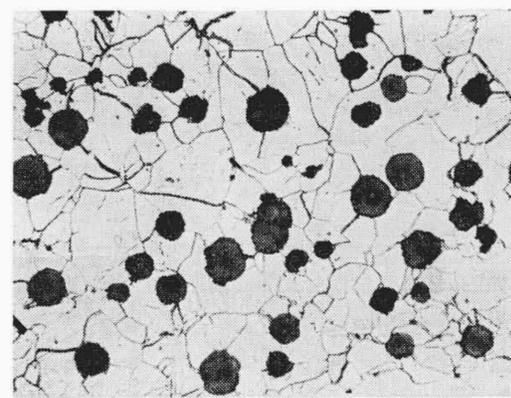


図7 ケーシングEの本体付試験片 顕微鏡組織 (×100)

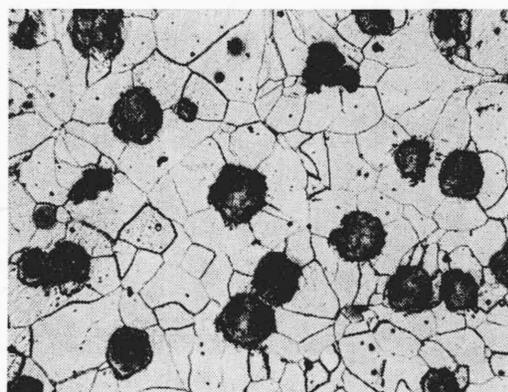


図8 ケーシングEの本体顕微鏡組織 (×100)

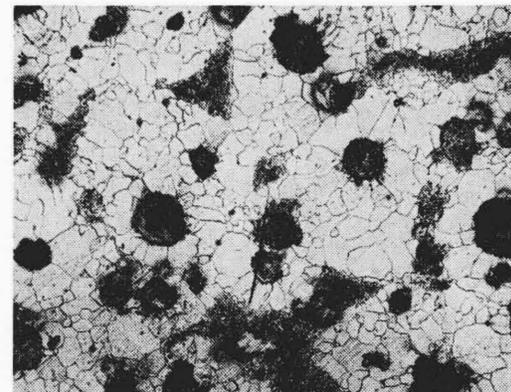


図9 焼鈍フェライト形球状黒鉛鋳鉄製ケーシングDの本体顕微鏡組織 (×100)

2.3 鑄物砂の検討

鑄物砂は鑄型の寸法精度および造型能率の点よりNプロセス砂を採用した。Nプロセスを採用した場合の部品でき栄えを管理するために、N砂の諸性質と鑄造欠陥との関係を調査し管理目標を決定した。

2.3.1 N砂の配合と適用範囲

N砂の配合は過去の使用実績よりすでに使用しているものをそのまま採用し、部品の形状により適用範囲を制限することにした。

表12はN砂の配合と適用範囲を示したものである。

2.3.2 N砂の諸性質と鑄造欠陥との関係

Nプロセス⁽⁵⁾を採用した場合、N砂の混練時における品質が安定していても鑄型の形状、砂層厚およびNスクラップの使用状況により鑄型として造型されたときの諸性質は変動する。そのため各部品ごとの鑄型における諸性質と鑄造欠陥との関係を解析した。

その結果、部品のでき栄えと最も関係する鑄型の性質はN反応温度と残留水分であり図11, 12に示す関係が得られた。

2.3.3 品質管理項目の選定

表13はN砂の品質管理項目を表示したものであるが、これにより混練時の材料変質および配合誤差のチェックおよび鑄型に成型された際の適否を判断することができる。

2.4 鑄造方案の検討

主要部品の形状は図1および表1に示されているように肉厚変動と構造が複雑であることより次の点について試作検討した。

- (1) 引け巣防止のための押湯方案
- (2) 鑄込温度の管理限界

2.4.1 押湯方案の検討

部品の押湯設計に際しては各材質ごとに次の形状の押湯を採用した。押湯の大きさは部品と押湯の冷却比からCaine氏⁽⁶⁾⁽⁷⁾の凝固式により計算して求めた。計算値の精度については試作を行ない、試作品をγ線検査により内部探傷してでき栄えを確認した。

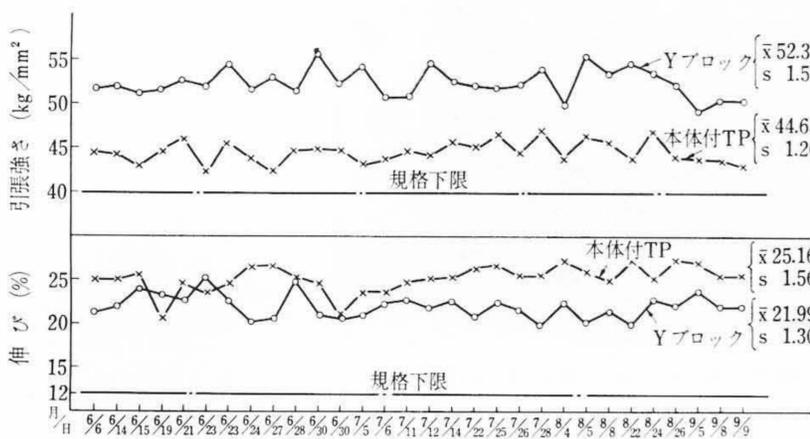


図10 鑄放しフェライト形ダクタイル鑄鉄の機械的性質管理図 (昭和42年6月6日~42年9月9日)

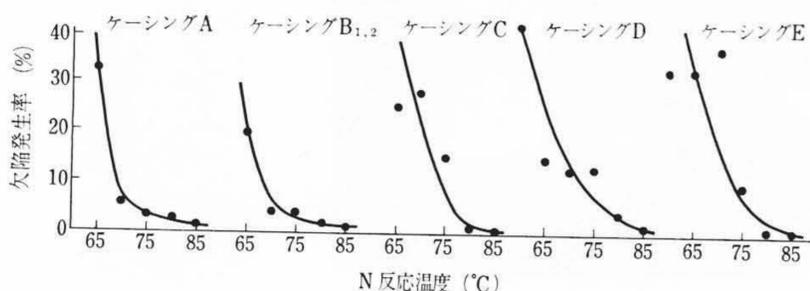


図11 鑄型のN反応温度と鑄造欠陥との関係

表12 N砂の配合と適用範囲

| 砂種 | 配 合 比 (重 量 %) | | | | | | | 適用区分 | |
|-----|---------------|------|------|------|------|-----|------|------|------------|
| | 回収砂 | 神宮6号 | 日瓢5号 | 筑摩6号 | 白銀7号 | 石炭粉 | Nフラー | | Nセット |
| NF1 | | | 100 | | | 1 | 2.0 | 5.0 | 厚肉部分用 |
| NF2 | 30 | 70 | | | | 1 | 1.8 | 5.0 | 一般用 |
| NFP | | | | 50 | 50 | 1 | 2.5 | 5.5 | 空気, 油ボックス用 |

表13 N砂の品質管理項目

| 項目 | 造型時の鑄型管理 | | 混練時のN砂管理 |
|----------|----------|---------|----------|
| | 鑄型の状態 | 付属TPの状態 | |
| N反応温度 | 全品実施 | | 抜取り実施 |
| 残留水分 | 全品実施 | | |
| 反応時間 | | | 抜取り実施 |
| 通気度, 耐圧力 | | 全品実施 | |

- ネズミ鑄鉄品 FC-20.....予備押湯
- FC-30.....直下押湯
- 球状黒鉛鑄鉄品 FCD-40.....直下押湯

押湯の設計値と試作結果との関係は図13に示すとおりである。

2.4.2 鑄込温度の検討

各部品について、鑄込温度が引け巣、吹かれなどの鑄造欠陥およびN砂の浸透事故にどのような関係があるか調査検討した。

ケーシングC部品の吹かれ、引け巣欠陥とN鑄型の浸透事故に対する鑄込温度の関係は図14, 15に示すとおりである。

2.5 模型方案および造型能率の検討

模型方案は寸法精度と造型能率の点よりパーマメントモールドの利用と脱型および鑄型組立などを考慮して中子組立方式を採用した。これにあわせて各種の寸法測定ならびに組立ゲージも作成した。

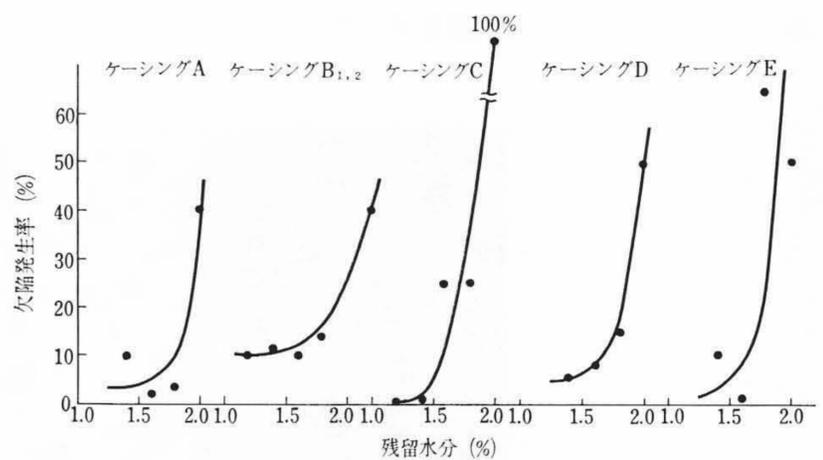


図12 鑄型の残留水分と鑄造欠陥との関係

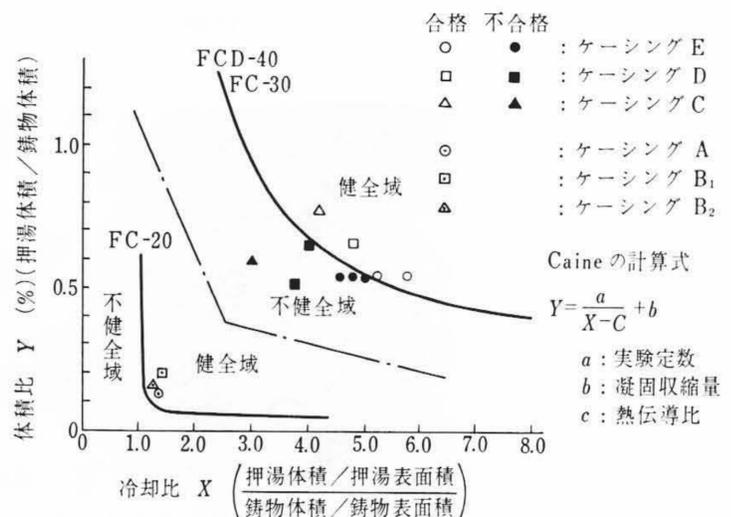


図13 押湯の設計値と試作結果

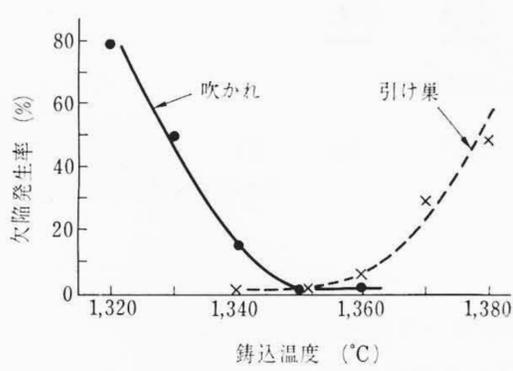


図14 FC-30材部品の鋳込温度と鋳造欠陥との関係

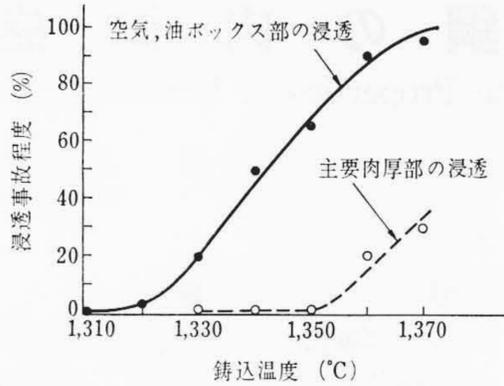


図15 ケーシングA, B部品の鋳込温度と浸透事故との関係

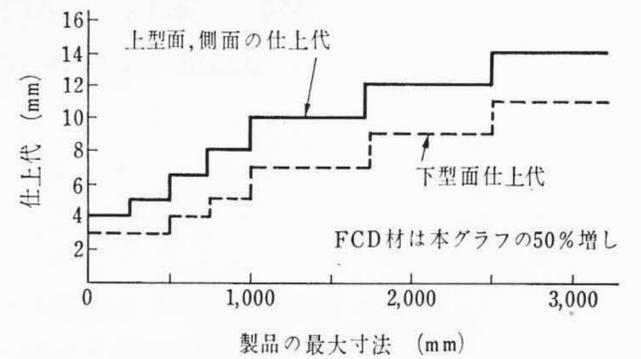


図16 ネズミ鋳鉄品の仕上代基準

表14 各部品ごとの品質管理項目と方法

| 対象品 | 理管項目 | 溶解管理 | | | | | 砂管理 | | 造型管理 | | でき栄え管理 | | ひずみ | 検査 |
|---------|----------------------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|-----------|-------|-----|-----|
| | | 化学成分 | 材料試験 | TP組織 | 本体組織 | 出湯温度 | N | 砂 鋳 型 | 寸 法 | 鋳込温度 | 寸 法 (ケガキ) | 荒 削 り | | |
| 部 品 名 | ケーシング A | ○ | ○ | — | — | ● | ● | ● | ● | ● | ● | —* | ● | ● |
| | ケーシング B ₁ | ○ | ○ | — | — | ● | ● | ● | —* | ● | —* | ● | ● | ● |
| | ケーシング B ₂ | ○ | ○ | — | — | ● | ● | —* | —* | ● | —* | —* | ● | ● |
| | ケーシング C | ○ | ○ | — | — | ● | ● | ● | —* | ● | —* | ● | ● | ● |
| | ケーシング D | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| | ケーシング E | ○ | ○ | ○ | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| 管 理 方 法 | | 全 品 | 全 品 | 全 品 | 抜 取 り | 全 品 | 抜 取 り | 全 品 | 全 品 | 全 品 | 全 品 | 全 品 | 全 品 | 全 品 |

○印：顧客提出を含む管理
●印：自工場のみ管理

*印：模型新調、方案変更の場合のみ5個実施する

2.5.1 鋳物尺

ネズミ鋳鉄部品.....10/1,000
球状黒鉛鋳鉄部品.....5~8/1,000

2.5.2 仕上代およびヨビ肉

図16に示す基準にしたがって機械加工面には仕上代をつけ、寸法修正に必要なヨビ肉も各必要個所につけた。

3. 製造作業法

前項に示した試作結果を検討し、製品のでき栄えに関する項目を求めて製品の品質確認に必要な品質管理項目と管理水準を設定し製造作業基準を確立するとともに製品の品質保証基準をも決定した。

製造作業時の品質管理について、項目および管理方法を示したものが表14である。

各主要部品の製造に際しては表14に示した品質管理項目と実施要領に従って管理水準と品質保証基準を決定し、すべての作業工程において管理限界内にはいるよう作業管理を行なった。

4. 結 言

以上形状が複雑な鋳鉄鋳物部品について製造作業時の溶解、砂および造型上の品質管理ならびに鋳造方案上の技術的問題を試作検討した。

その結果、球状黒鉛鋳鉄部品(FCD-40)に鋳放しフェライト形球状黒鉛鋳鉄材の採用が可能となったこと、ならびに各主要部品に対する作業上の品質水準が決定できたことにより安定した生産体制を確立することができた。

参 考 文 献

- (1) J. Sissener: 日本鋳物協会特殊鋳鉄部会資料 (1963, 10, 23)
- (2) S. I. Karsey: Modern Castings. 47, 124 (Jan. 1965)
- (3) C. Nicholls: The British Foundryman. LX1 (Jan. 1967)
- (4) 久保田鉄工株式会社: 第36回DCI技術委員会提出資料(昭42-5)
- (5) 西山太喜夫: 特許 (昭32-617)
- (6) J. B. Caine: Transaction of AFS Vol. 59 (1949)
- (7) 千々岩健児: 鋳物の湯流れと押湯