

鑄鋼羽根車の精密鑄造化

Precision Casting Process for Cast Steel Impellers

上 田 博* 森 本 庄 吾*
Hiroshi Ueda Shogo Morimoto

酒 井 淳 次* 島 田 要 吾**
Jun'ji Sakai Yougo Shimada

要 旨

比較的形状の大きい鑄物の精密鑄造に関する研究を行ない、焼成鑄型（セラミック鑄型）による精密鑄造技術を確立した。

特に鑄はだ平滑度の改善のために、流動セラミック鑄型の開発を行ない、従来の精密鑄造技術では困難とされている羽根車に応用した。

本報は、流動セラミック鑄型精密鑄造法にかかわる技術についての基礎的事項である、鑄型の強度、凝固、湯流れなどを検討するとともに鑄造品への適用例について述べる。

1. 緒 言

近年、機械部品に使用される鑄造品に、溶接加工品と同等の寸法精度や、薄肉化の要求が多くなってきた。一方、経済面からは、加工工数の低減の要請も多くなっている。

上記の要求に応ずるための鑄造法として、鑄はだが平滑で、寸法精度の良い、精密鑄造法が脚光を浴びてきた。これら精密鑄造法には現在ほぼ完成された技術、もしくは発展途上の技術として、インベストメント鑄造法（ロストワックス法）、ショープロセス、シェルモールド法、あるいは金型鑄造法などがある。鑄造品の形状および大きさ、材質、同一ロットの個数などにより、おのずと採用される鑄造法は決まってくる。

鑄鋼を対象とする場合には、鑄込温度が高いため、耐熱性の高い鑄型を必要とし、しかも溶湯との反応がなく、ガス発生もないなどの制約を受ける。

今回開発の対象とした製品は、ポンプ用羽根車などの回転体で、比較的大きな非量産品の精密鑄造化である。

これらの羽根車は、いずれも形状が複雑で、しかも流体性能を高めるため流路部の羽根の形状は三次元で薄肉化されている。また、鑄はだの平滑度は10~15S程度を必要とし、強度的にも非常に高い実体強度が要求されている。したがって鑄造品の欠陥は内外ともに微細なものでも許されない。

鑄造品を試作するにあたり、まず各種の精密鑄造法の適用の可否を検討した。この結果、日立製作所機械研究所で以前より研究を進めてきた、流動セラミック鑄型鑄造法を適用することにより、上記の諸要求を十分に満足させ、しかも鑄はだのあらさは5~15Sとロストワックス鑄造品に匹敵する鑄造品を低原価で、かつ短納期で得ることが可能となった。

以下、これらの開発の概略を述べる。

2. 精密鑄造鑄型

2.1 セラミック鑄型

精密な鑄物を作るためには、精密な鑄型が必要である。フルシェラウド型の羽根車用鑄型材料として具備しなければならない、基本的な性質は、

(1) 高温での焼成に耐える高温強度。

(2) 成形後の取り扱いが可能となる常温強度。

(3) 寸法変化が小さいこと。

(4) 溶湯との反応が少なく、注湯時に有害なガスを発生しないこと。

(5) 高温に長時間さらされても軟化変形を起こさないこと。

などであり、これらの条件を満足させるため、骨材、粘結剤について種々の検討を行ない、最終的にはジルコン系耐火物を骨材にし、粘結剤にアルミナゾルおよびシリカゾルを使う焼成鑄型がすぐれていることがわかった^{(1)~(3)}（特許出願中 2件）

2.2 流動セラミック鑄型

2.1 で述べたセラミック鑄型は、その造型方法がつき固め成型法を採用しているため、充填(じゅうてん)密度は高く、強度的には強いが、鑄造品の鑄はだあらさは約25S程度である。

この改善法として、鑄型の流し込み成型を検討した。その結果、流動性をもつセラミック鑄型を開発し、これによって鑄型表層部をコーティングする新しい方法を開発した。（特許出願中）

この鑄造技術を適用した鑄造品の鑄はだあらさは5~10Sを得ることが可能となった。

2.3 鑄型の基本的性質

上記のつき固め式および流動セラミック鑄型の基礎的な性質について述べる。

(1) 焼成後の強度

図1は焼成時の重量減少率を示すものである。約500°Cで恒量となり、脱水が完了したことを示している。これらの鑄型の抗折力を測定した。試験片は25mm角、長さ210mmで、試験は支点間距離150mmとした。図2は鑄型を所定の温度に3時間保持し常温まで冷却した後の強度を示したものである。

流動セラミック鑄型の強度はつき固めによるセラミック鑄型よ

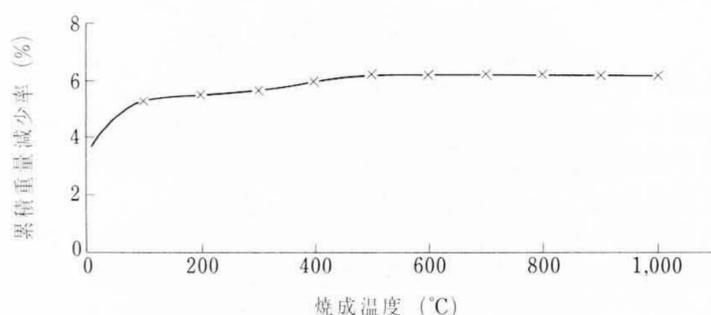


図1 焼成温度と重量減少の関係

* 日立製作所機械研究所

** 日立製作所亀有工場

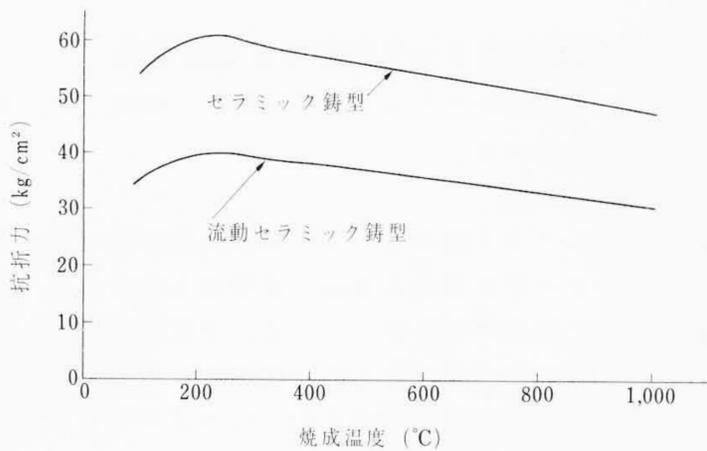


図2 焼成温度と鋳型強度の関係

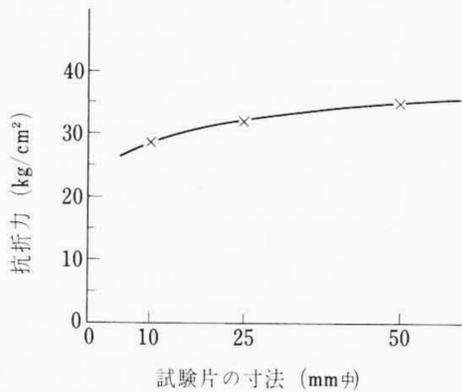


図3 流動セラミック鋳型の大きさと強度の関係 (900°C焼成)

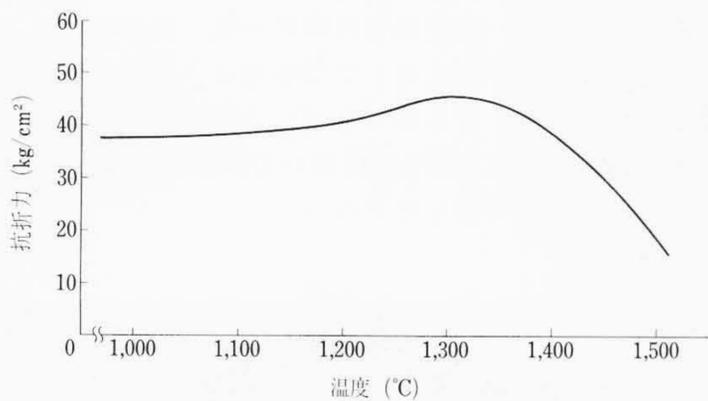


図4 セラミック鋳型の高温強度

り、約30%程度低い値になっている。また焼成温度が200~300°Cでいずれも最高の強度を示している。

図3は流動セラミック鋳型の試験片の大きさと抗折力の関係を示したもので、試験片の寸法により強度が変わり、小さなものでは若干低下している。

(2) 高温強度

鋳型のうち、中子は注湯の際に特に高温にさらされる。凝固が完了するまで相当量の溶湯圧力に耐えねばならない。一般の鋳型の場合は心金などで補強することが可能であるが、焼成鋳型では熱膨張の関係で異種材料で補強することは困難である。図4は高温抗折試験機を用いて熱間の強度を測定した結果である。強度は1,300°Cまで上昇しており、1,500°Cにおいても約20kg/cm²を保持している。これは相当高温の溶湯にさらされても十分耐えることを示している。

3. 鋳造特性

3.1 凝固特性

セラミック鋳型での鋳造では鋳型を高温で焼成し、その直後に注湯している。そのため鋳造された溶鋼の凝固が従来の砂型によるものと比べて遅くなり、引けの発生形態も異なってくる⁽⁴⁾。

直径70mm、100mm、130mmφで高さを100~400mmに変えた円柱状試験片を鋳造する鋳型を作り、900°Cで焼成後、600°Cに保持した状態で、13%クローム鋼を鋳造した。各試験片の中央断面にお

ける引け発生の状態を調査した結果は図5に示すとおりである。従来の砂型鋳物と比較すると、セラミック鋳型の場合は、一次引けの領域は小さいが、ミクロ的な引けも加えた二次引けの領域は大きくなる。

これより、セラミック鋳型の場合は大量の押湯が必要であると言える。

一方、凝固区間における冷却速度は砂型に比べて相当遅れており、その間に鋳型の温度上昇もあって、補湯距離および厚肉部への給湯効果も大きくなっている。したがって本鋳造法では、押湯方案を簡素化できる可能性を示すものであり、実際に製品で多く経験している。

図6は同一形状の鋳物を砂型とセラミック鋳型で鋳造した場合のマクロ組織の比較を示したものである。鋳造組織はセラミック鋳型で鋳造した鋳物のほうが中央部の等軸晶領域が広い。これは鋳物が徐々に冷却される結果である。機械的性質は、等軸晶でも柱状晶でも大差のないことが確認されている⁽⁵⁾。

3.2 流動性

セラミック鋳型では高温に鋳型を保持した状態で注湯を行うため、溶鋼の流動性が増大し、薄肉鋳物の鋳造が容易になる。これはインベストメント鋳造法などと同様のことであるが、この確認実験を行なった。

流動性は溶鋼を一定の圧力で押し上げた場合に、1.6mm、3.2mm、6.5mm、10mmφの各断面を溶鋼が下から上に流動する長さで測定した。図7は1,600°Cで注湯した13%クローム鋼の流動性を示すものである。比較の対象として、砂型(Nプロセス鋳型)を使って同一条件で試験した結果もあわせて図示してある。

鋳型温度を常温から上げていくと約400~600°Cで砂型の場合の

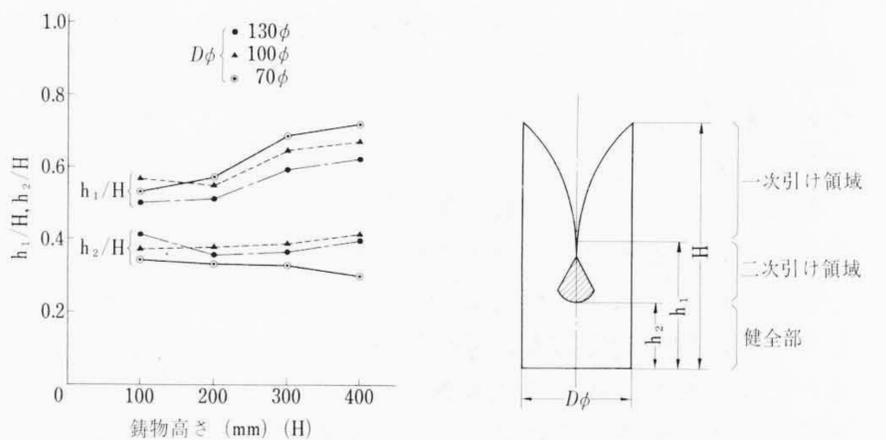


図5 セラミック鋳型による鋳物の引け特性 (13%Cr鋳鋼)

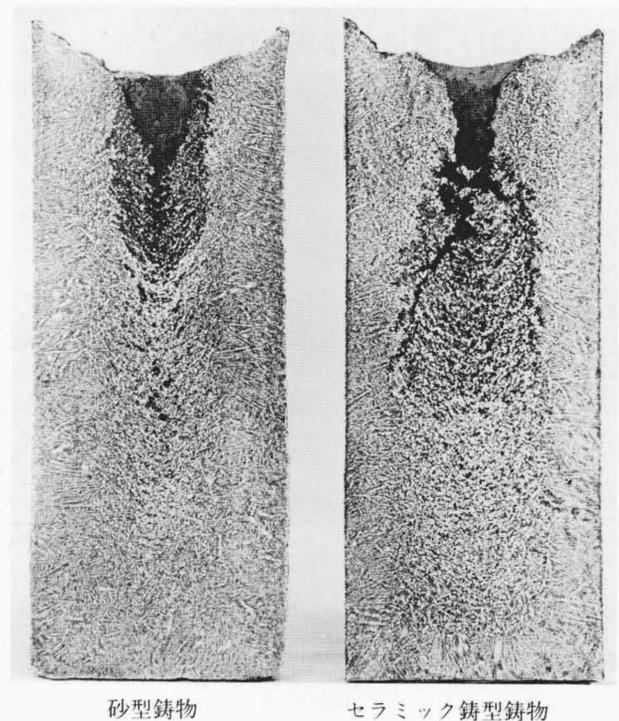


図6 マクロ組織の比較 (13%Cr鋳鋼)

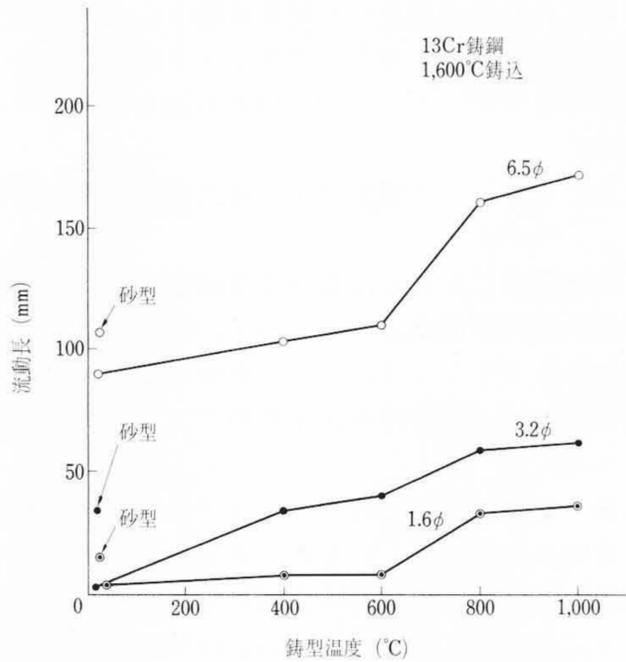


図7 セラミック鑄型による溶湯の流動性

流動長と同じになり、それ以上の鑄型温度でより高い流動性を示している。これはセラミック鑄型の骨材が、微細なジルコン系の耐火物で、ケイ砂より熱伝導性が良いことと、通気性が悪いために、鑄型温度が低い場合は常温の砂型の場合より流動性が悪い結果になったものと考えられる。

セラミック鑄型では通常 600°C 以上に予熱して注湯していることから、従来の鑄型よりさらに薄肉品の鑄造が可能なることは明らかである。

3.3 機械的性質

機械的性質からみた、肉厚感受性と鑄造条件の関連を円筒状階段試験片を用いて検討した。

試験片の肉厚は 10mm, 20mm, 40mm の 3 段階である。鑄型の子熱温度を常温, 400°C, 600°C および 800°C の 4 条件とし、鑄込温度を 1,554°C, 1,600°C および 1,660°C の 3 条件として 13% クロム鑄鋼で検討した。

結果の一例として、図 8 に鑄型温度 800°C、鑄込温度 1,600°C の場合の肉厚と密度および調質後の機械的性質の関係を示した。

密度は肉厚が増すにつれて減少し、清浄度も悪くなる傾向を示している。機械的性質も肉厚の増加とともに劣化の傾向が見られるが、特に伸び、絞りで代表される靱性(じんせい)値にその影響が著しく現われる。それに比べて、引張強さ、降伏強さはあまり低下しない。

しかしながら、これら機械的性質は、鑄型の温度、鑄込温度などの影響を強く受け、適切な鑄造条件を与えることにより、比較的厚肉のものでも性質の劣化をきたさない鑄物が得られる⁽⁵⁾。

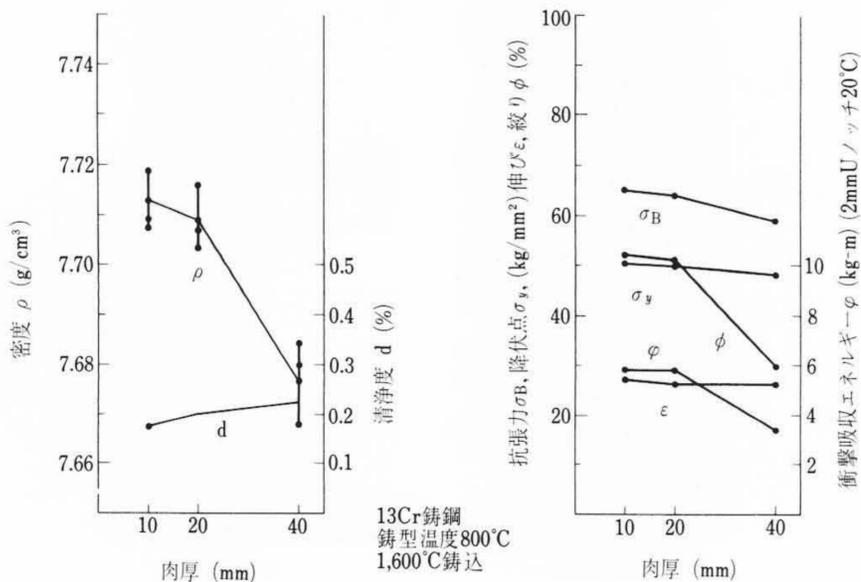


図8 肉厚と機械的性質の関係

4. 流動セラミック鑄型による鑄造品

著者らが開発した流動セラミック鑄型を用いて鑄造した、製品の例について概略を述べる。

4.1 ポンプ用案内羽根

この製品はモデルテスト用のもので、羽根外径は約 130mmφ、羽根は三次元で、その厚さは最大 2mm、先端は 1mm である。羽根付根部の R は 1mm と極端に鋭くなっている。寸法精度は ±0.25mm 鑄はだあらさは 10S 以下と高度なものが要求されている。鑄造品の形状および精度から、在来の方法としてはロストワックス法以外は鑄造不可能と考えられる部品である。

流動セラミック鑄型を用いて鑄造した案内羽根は図 9 に示すとおりである。鑄造品の寸法精度は ±0.25mm 以内、鑄はだあらさは約 5 S 程度で、ロストワックス鑄造品と同等のものが得られた。

鑄造条件	鑄型温度	900°C
	鑄込温度	1,600°C
	材質	SCS 13

4.2 ボイラ給水ポンプ用羽根車

一般にポンプ用羽根車の流路部分は三次元にわん曲した複雑な形状をしており、機械加工が困難である。しかも平滑度が直接流体性能に影響するため、鑄はだの平滑度向上が強く望まれていた。

注湯時、流路中子は高温の溶湯に長時間鑄包まれるため、従来の砂型鑄造品の場合は鑄はだの劣化が著しい。このような場合に溶湯との反応が少ない焼成鑄型の特色が最も発揮される。

ここで述べるボイラ給水ポンプ羽根車は、高温高压の環境下で高速運転されるためにきわめてきびしい条件が要求されている。したがって鑄造品にはγ線透過試験および染色探傷試験を実施し、内外部ともに微細な欠陥も許さない。

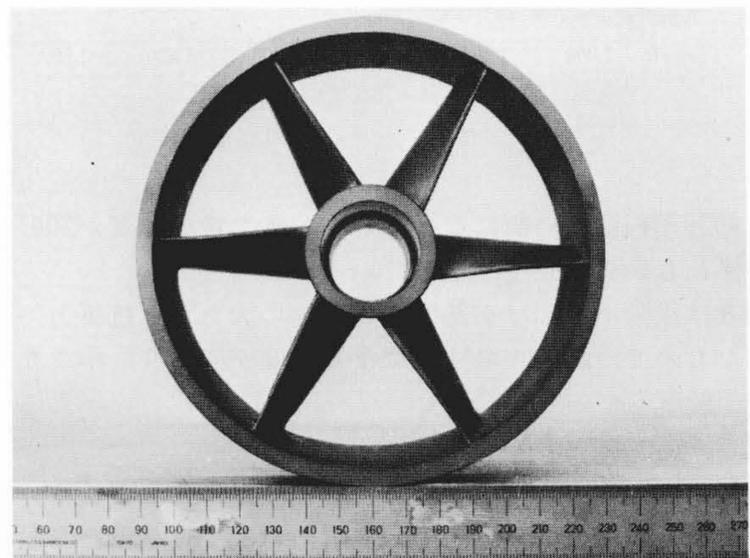


図9 案内羽根

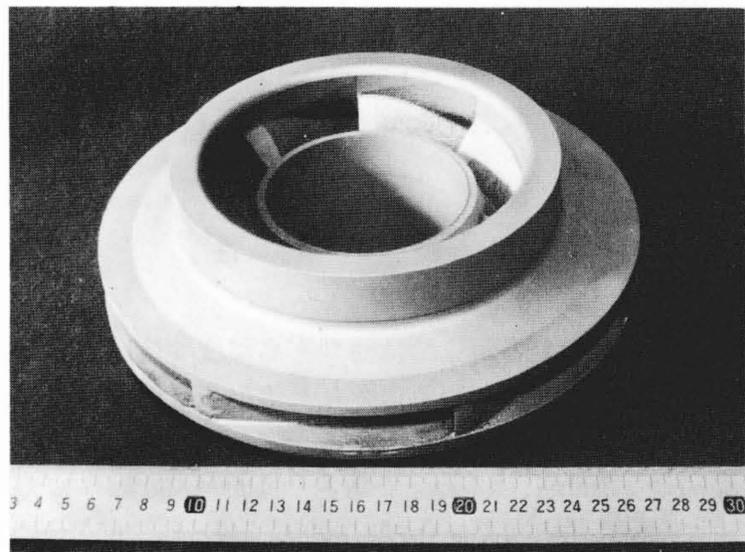


図10 ボイラ給水ポンプ羽根車

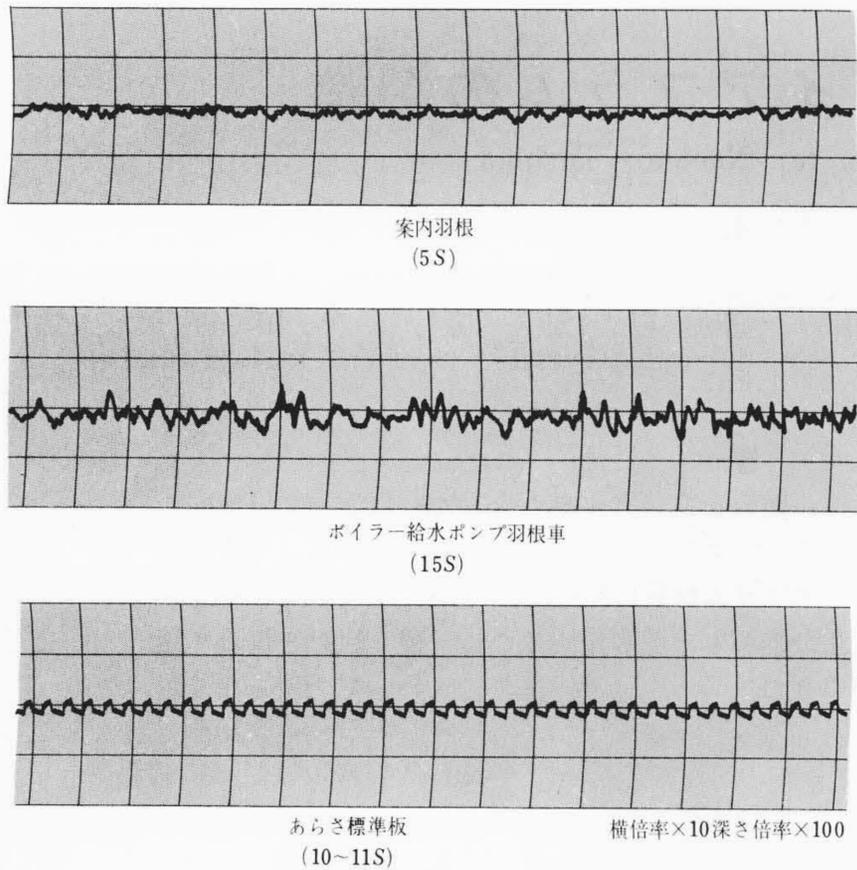


図11 鋳造品の鋳はだ平滑度

鋳造品の外観は図10に示すとおりである。

鋳造条件	鋳型温度	900°C
	鋳込温度	1,620°C
	材質	ASTM CA 40

鋳造品の実体の強さおよび寸法精度はいずれも要求された条件を十分満足するものが得られた。

鋳はだのあらさについては図11に触針法により測定され、流路部の鋳はだあらさはいずれも5~15Sである。

そのほかの適用例としては、プロセスポンプ羽根車があげられ、図12はその外観を示したものである。

5. 結 言

大形精密鋳造品の鋳造技術を確立することを目的に研究を重ね、流動セラミック鋳型による鋳造技術を開発した。



特 許 の 紹 介



特許第555691号(特公昭44-9362号)

日 卷 万 允

鋳 型 ば ら し 装 置

鋳型コンベヤで運ばれてきた注湯後の鋳型をばらすための従来の鋳型ばらし装置は、運ばれてきた鋳わく(注湯後の鋳型がはいっている)をつり上げて型ばらし位置に運び、型ばらしを行なった後、からになった鋳わくを再びコンベヤ上に戻す動作を鋳わく1個ごとに行なうが、この鋳型ばらしの動作のサイクルはほかの各連携機械のサイクルに比べて長時間を要するため、鋳造設備の稼働率向上のネックになっていた。

本発明は二組の突き出し鋳型ばらし装置を有し、うち一組の型ばらし装置により鋳型コンベヤ2上の鋳型のはいった鋳わく1A、1Bを持ち上げ移動すると同時に、他の一組の型ばらし装置は型ばらしを終えた鋳わく1A、1Bを鋳型コンベヤ2上に移動し、鋳型コ

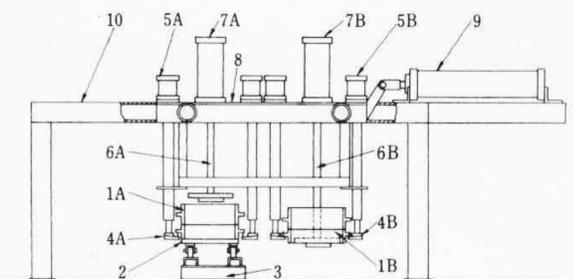


図 1

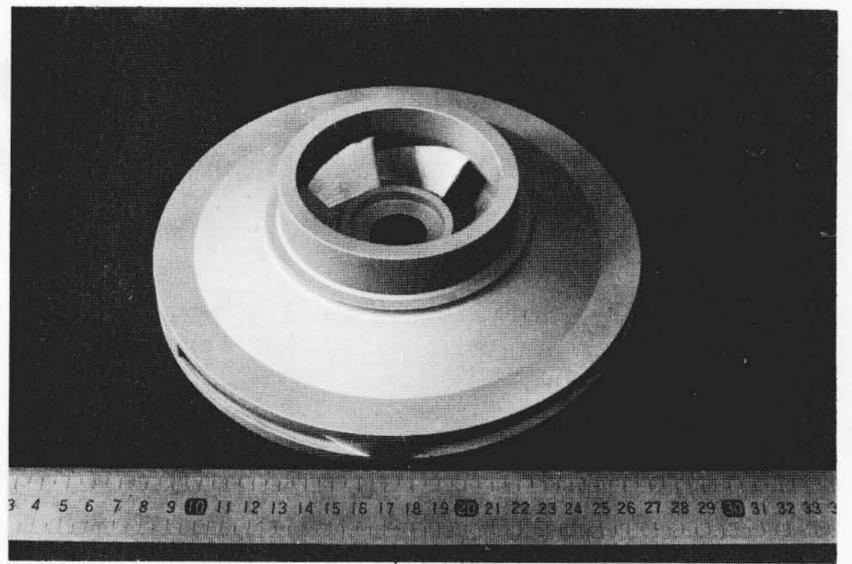


図12 プロセスポンプ羽根車

特にロストワックス鋳造法では製作困難な羽根車にこの鋳造技術を適用し、ほぼ所期の目的を達した。その内容を取りまとめると、

- (1) 流動セラミック鋳型によれば、鋳はだ平滑度はロストワックス鋳造品に匹敵するものが得られる。その表面あらさは5~15Sである。
- (2) 焼成鋳型による鋳造特性を明らかにすることができた。
- (3) この鋳造法は、大形でしかも非量産の製品に適用できる精密鋳造法であり、金型を必要としないため製作期間は著しく短縮され、原価低減の効果が大きい。

参 考 文 献

- (1) 島田, 清水: 日立評論 52, 123 (昭45-2)
- (2) 島田, ほか: 日本特許 第606084号
- (3) 島田, ほか: 日本特許 第606122号
- (4) 森本, 島田: 鋳物 43, No. 9
- (5) 森本, 島田: 鋳物 43, No. 4

ンベヤ2が1ピッチ進行する。一方、鋳型のはいった鋳わく1A、1Bは鋳型コンベヤ2の運転中型ばらし装置により型ばらし作業を完了し、次いで型ばらし装置は鋳型コンベヤ2上の鋳型のはいった鋳わく1A、1Bを持ち上げ、前回と反対側に移動し同時に型ばらしの完了した鋳わく1A、1Bを鋳型コンベヤ2に乗せる。鋳型コンベヤ2よりはずれた位置に移動した鋳型のはいった鋳わく1A、1Bは鋳型コンベヤ2により鋳わく1A、1Bが移動している間に型ばらし作業を完了して次の型ばらし位置への移動動作を待つ。

本発明は上述の構成により、型ばらし時間を著しく短縮せしめ、連続鋳造設備の能率を飛躍的に向上せしめ得て工業上の効果大である。

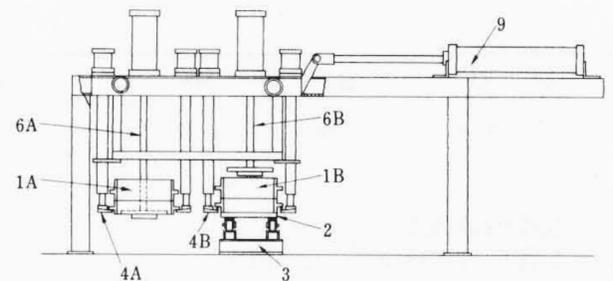


図 2