

金型鑄造法による高品質チタン鑄造技術の開発

岡田健司*¹ 永野正明*¹ 矢澤貞春*¹ 常木裕己*²
伊藤高太郎**¹ 河井昭雄**² 星野和義***

Development of High-Quality Titanium Casting by the Gravity Metal Mold Process.

OKADA Kenji*¹, NAGANO Masaaki*¹, YAZAWA Sadaharu*¹, TSUNEGI Hiromi*²
ITOH Koutarou**¹, KAWAI Akio**², HOSHINO Kazuyoshi***

抄録

金型鑄造法により純チタンを鑄造したところ、遠心鑄造法を用いることにより内部のガス欠陥を抑制できることが判明した。更に、金型に表面処理することにより湯じわを減少させることが出来ることを認めた。金型鑄造法によるチタン鑄造技術の可能性を見いだすことができた。

キーワード：チタン，金型鑄造法，表面反応層

1. はじめに

チタン系合金は、耐食性、高比強度など、優れた特性を持ち、今後の利用拡大が期待されている。

しかし活性金属であるため、溶湯 - 耐火物反応による ケースの発生、高価な耐火物や粘結剤の使用など、鑄型はチタンの鑄造にとって最大の問題点である¹⁾。これらの問題点を金型鑄造により解決する試み²⁾も行われているが、金型材質や表面処理などに検討の余地を残す。

本研究では、鑄型を金型化することによって発生しうる諸問題（急速凝固によるガス欠陥および湯じわの発生、表面反応層の抑制、金型に適した材質および表面処理方法、鑄造時の金型温度）について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 CCLMによる遠心鑄造実験

遠心鑄造法による、ガス欠陥および湯じわの抑制効果を検討するために、図1に示す遠心鑄造用金型を作製した。材質は SUS304、キャビティは遠心鑄造用の湯口を想定し、かつ平面部の湯じわを観察するため80mm × 80mm × 130mm の角柱状とした。



図1 遠心鑄造用金型

ここでは、この金型を使用して表1に示す鑄造条件3要素を組み合わせる鑄造を行った。なお、金型温度は鑄込み時の推定温度である。

溶解はCCLM(富士電機製、磁気浮揚溶解炉)を用いた。溶解条件は、溶解量純 Ti 2kg、溶湯温

*¹ 材料技術部

*² 材料技術部(現 技術支援室)

**¹ イトコー株式会社

**² チタンキャスト株式会社

*** 日本大学生産工学部

度は約1900、注湯時間は底注ぎのため約6秒である。鑄造後、目視およびX線による内部観察を行った。

表1 鑄造条件

雰囲気(atm)	0.5, 1.0
回転数(rpm)	0, 100, 200, 300, 400
金型温度()	20(常温), 350

び表面処理をそれぞれ組み合わせた計9種類である。なお、プレート表面はフライス仕上げであり、表面処理もこの状態から行った。

表2 プレートの種類

材質	SUS304, SUS440C, TP340
表面処理	無処理、イオン窒化、イオンプレーティング(IP)

2.2 アーク溶解炉による金型材質実験

金型に適した材質や表面処理を検討するために図2に示す構造の金型を作製した。

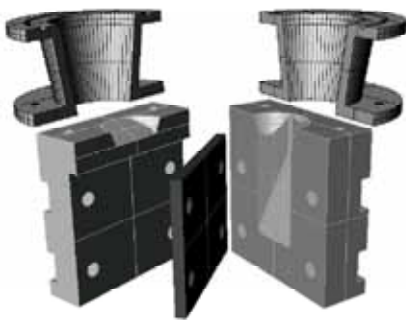


図2 材質検討用金型

金型は5つの部品からなり、中央部にプレートを配し、これを挟み込む構造とした。プレートは150mm × 130mm × 10mmで、表2に示す材質および

キャビティは肉厚による変化を観察するため長さ80mm × 幅50mm × 高さ30mmのくさび形とした。プレート以外の4部品の金型材質はSUS304である。

溶解はFlashCaster C-500(チタンキャスト製、非消費電極式スカルアーク溶解炉)を用いた。溶解条件は、溶解量純Ti 500g、注湯時間は約0.5秒、金型温度は常温、製品重量は約300gである。比較のため金型鑄造品と同条件で同形状の精密鑄造品(セラミックシェルモールド法)も作製した。

鑄造後、金型材質検討のためプレートの表面観察を、また鑄造品の結晶粒径および表面反応層の比較を行った。

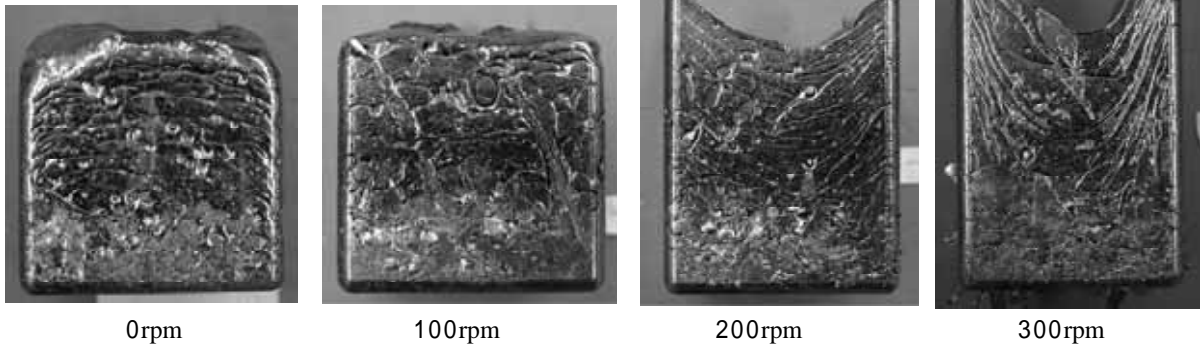


図3 遠心鑄造品の外観

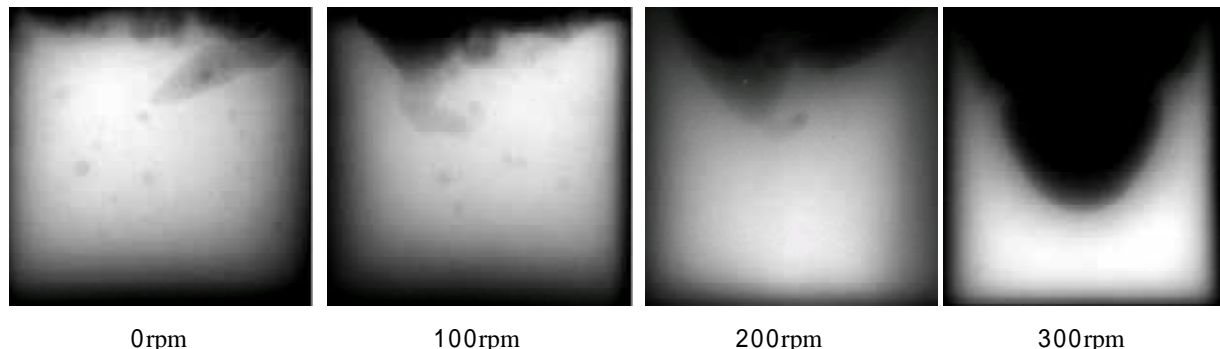


図4 遠心鑄造品のX線像

3. 結果及び考察

3.1 CCLMによる遠心鑄造実験

金型温度25、雰囲気1atm時における回転数0, 100, 200, 300rpmの遠心鑄造品外観を図3、それらのX線像を図4に示す。

この結果、図3では、遠心力の大小によらず湯じわが層状に発生している様子がわかる。これは、注湯に時間がかかるため、金型内に充填された溶湯が順次凝固するためであると考えられる。湯じわと遠心力との相関は確認できなかった。

図4では、鑄造品内に一様に分散していたガスが、遠心力の増加により中央、上部と移動している様子が分かる。300rpmにおいては内部のガス欠陥は確認できなかった。

なお、遠心力以外の条件として雰囲気、および金型温度についても検討を行ったが、これによる鑄造品の湯じわや内部欠陥などの差異は確認できなかった。実験終了後の金型を図5に、焼き付き部断面の組織写真を図6に示す。



図5 使用後の金型

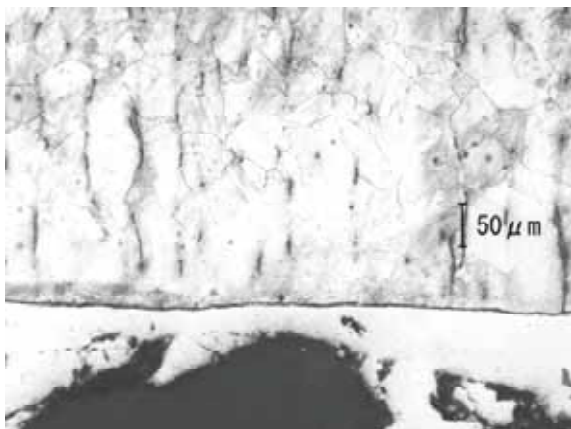


図6 焼き付き部断面の組織写真(倍率200倍)
(エッチング液: グラード溶液)

金型底面部は溶湯の直撃部であり、この部分は大きく焼き付きを起こしていた。その他の部分においても若干ではあるが溶着したチタンが見受けられた。注湯時および金型加熱時の熱によって金型が湾曲し、合わせ面に間隙が生じた。

断面の写真を見ると、表面が大きく荒らされていることが分かる。面分析の結果、表層のチタンには鉄が多量に含まれており、注湯時の高熱により、金型表層部が溶け出したものと考えられる。

3.2 アーク溶解炉による金型材質検討実験

3.2.1 プレートの表面観察

使用後のプレートの一例として TP340イオン窒化処理品を図7に示す。



図7 TP340イオン窒化処理品

溶湯に接触した部分は変色を起こしており、他のプレートも量の大小はあるが、いずれも変色を起こした。表面の変色に関しては、材質によらずイオン窒化処理を施したものが少なかった。なお、TP340無処理品は鑄造品が張り付きとれなくなってしまった。これを顕微鏡観察したところ、鑄造品と金型表面が融着しており、このことから窒化およびIP処理による離型性が確認できた。

プレートの観察は、当初は断面から行ったが、固着層の厚さは数ミクロン程度と非常に薄いものであったので、正面からの観察とした。SUS440C無処理品のEPMAによるプレート正面のマッピング像を図8示す。

同図から変色部はプレートの上にチタンが固着したものであり、それらは表面のフライス傷の凹

部に沿って存在していることが分かる。焼き付きについては、固着部にさらに固着することにより焼き付きが進行するものと思われ、金型材質や表面処理よりもむしろ表面状態の平滑さなど、形状に依存する可能性が考えられる。

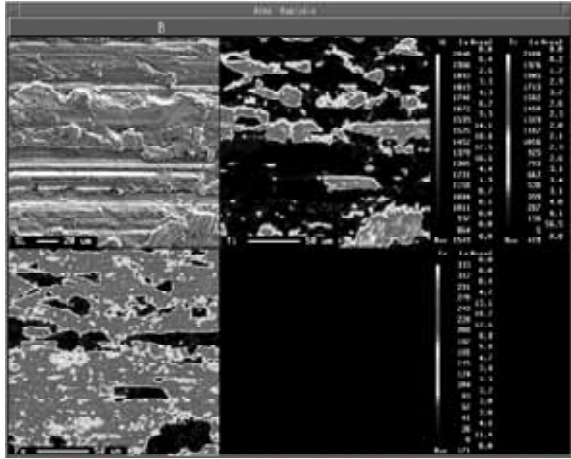


図8 SUS440C無処理品のマッピング像
SUS440C 窒化処理品プレートによる金型鑄造品の外観写真を図9に示す。

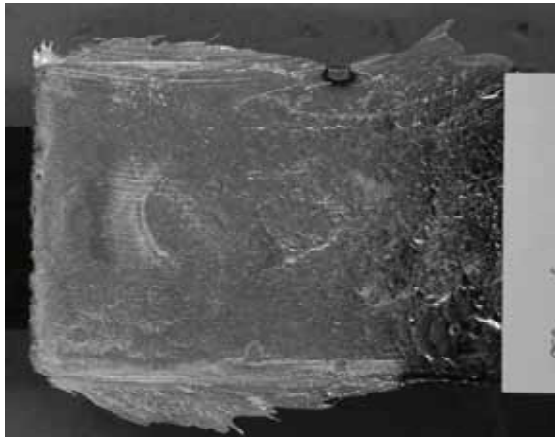


図9 金型鑄造品外観

この鑄造品には湯じわの発生は無く、表面は平滑であり、鑄造状態は良好であった。中央部のくぼみは面引け、バリの発生は型締力の不足が原因であると考えられる。他のプレートを使用した鑄造品において湯じわが見られたものもあったが、それらはCCLMから得られた鑄造品ほどでは無かった。これらの鑄造品との差異から、湯じわ抑止には鑄込み速度が重要であると考えられる。

プレートの材質や表面処理の相違による鑄造品できばえについては一概にはいえないが、目視による観察結果では、無処理品に比べ窒化および

IP処理を施したものはおむね良好であった。

3.2.2 凝固組織および表面反応層の比較

鑄造品の性質を調べるために、金型鑄造品および精密鑄造品の凝固組織および表面反応層の比較を行った。比較部位は鑄込み時に溶湯が直撃した部分であり、この部分は型が長時間溶湯に触れるため大きな反応を起こす部位である。金型鑄造品では変色、精密鑄造品では焼き付きを起こしていた。組織観察とEPMAによるマッピング像を図10~13に示す。

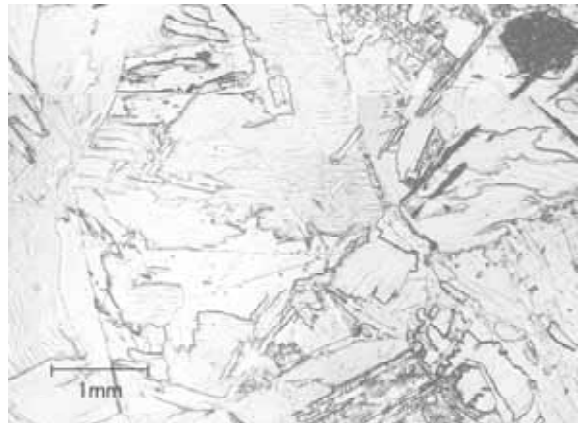


図10 金型鑄造品の組織写真(倍率13倍)
(エッチング液:フッ酸20%、硝酸10%水溶液)

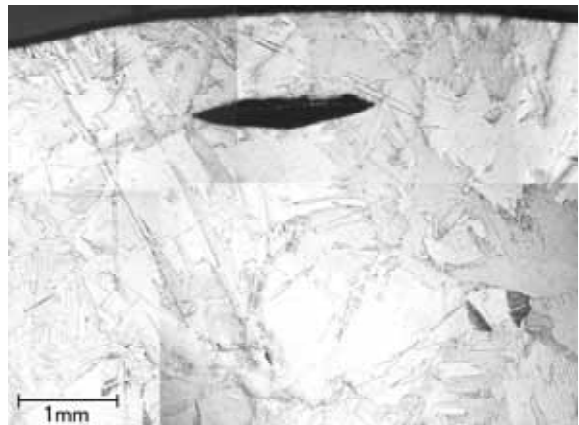


図11 精密鑄造品の組織写真(倍率13倍)
(エッチング液:フッ酸20%、硝酸10%水溶液)

この結果、図10,11から金型鑄造品の結晶粒径は精密鑄造品のそれと比較し3/4程度であり、これは金型による溶湯の急速な冷却が原因であると考えられる。また、図12,13から表面反応層は金型鑄造品では約5 μ mであるのに対し、精密鑄造品では約50 μ mであるため、金型鑄造法が表面反応層の抑制に効果があることを確認した。

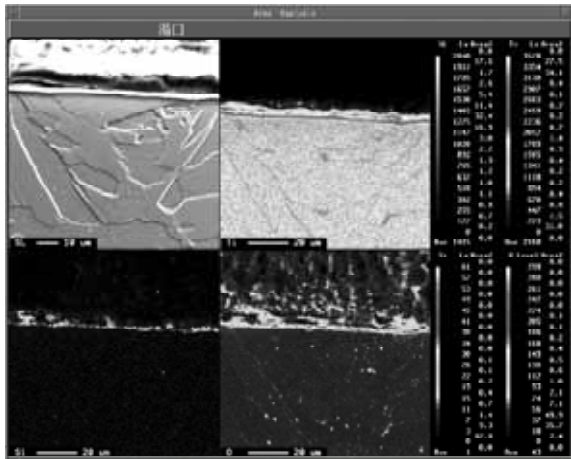


図12 金型鑄造品のマッピング像

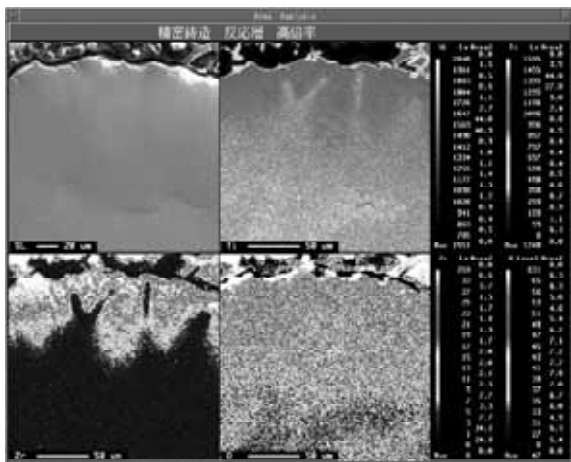


図13 精密鑄造品のマッピング像

4. まとめ

チタン鑄造における金型鑄造法について検討を行ったところ、以下のことが明らかとなった。

(1) 遠心鑄造法の適用について

遠心鑄造法によるガス欠陥抑制の可能性が確認できた。金型鑄造法では、凝固が早くガス欠陥が起りやすいと思われ、遠心鑄造との組み合わせは不可欠と考えられる。

なお、今回は300rpm までの回転数について実験を行ったが、金型では十分な型強度があり、さらに強力な遠心力をかけることが可能である。この方法による湯じわの抑制効果については今後の課題とする。

(2) 金型の材質、表面処理について

使用した2つの溶解炉、CCLMとアーク溶解炉では溶解量が大きく異なり、これが金型へのダメージの違いになったと考えられる。

金型鑄造法による表面反応層の抑制効果から、特に大型鑄造品に対する期待はあるものの、金型の特に溶湯直撃部に対するダメージが著しいので、この部位に耐火物を配置するなどの工夫について検討する必要がある。

湯じわの発生については型の熱的性質によるものが大きいと考えられる。金型は通常の鑄型に比べ熱伝導率が大きく、これが湯じわの原因となっている。従って、材質的な検討よりむしろ迅速な鑄込みを行うことが効果的と考えられる。併せて金型の表面精度についての検討も必要である。

また、TP340の無処理品が溶着したこと、表面処理品は離型ができたことから、表面処理による離型性について確認ができた。

(3) 鑄造品の性質について

表面反応層の抑止効果は確認できた。これは金型においては、精密鑄造鑄型における溶湯 - 耐火物反応が発生しないためと考えられる。金型による急速な冷却から鑄造品の結晶粒微細化の効果も確認できた。金型鑄造品の表面は非常に平滑であり鑄肌も良好であるので、湯じわ、ガス欠陥を効果的に抑えることができれば、チタン鑄造技術として有望であると考えられる。

参考文献

- 1) 佐藤敬：チタンの精密鑄造，鑄造工学，73，12(2001)791
- 2) Thomas Tom他：TITANIUM Investment Castings，Advanced Material & Process，1(2002)59