

技術資料

티탄合金鑄造法の 發展現況

趙南敦*

1. 序 論

오늘날 高度 技術分野에서 數 많은 航空機, 船舶 및 耐蝕系統의 部品の 發展은 티탄鑄物部品の 使用으로 成就할 수 있었다.

특히 最近 우리나라에서도 航空機 및 船舶의 部品の 開發을 서두르고 있는 이 시점에서 티탄合金鑄物의 發展現況을 안다는 것은 아주 重要한 일이다. 여기에서 소개되는 內容은 D. Eylon 등이 1983年 2月號인 Journal of Metal에서 發表한 內容을 간추려 소개하려고 한다.

지금까지 生産되는 티탄合金鑄物部品은 비교적 높은 價格으로 말미암아 完만한 增加로 使用되게 되었다. 本 解説의 目的은 要求되는 機械的 性質을 나타내고 最近의 最低價의 티탄 造形技術을 考察하는데 있다.

티탄 및 그의 合金의 鑄造는 熔融狀態에서 그 材料의 높은 反應性때문에 特別한 問題點을 나타내고 있다. 따라서 이 鑄造에서는 合金의 汚染을 防止하기 위한 特殊한 熔解, 鑄型製作 및 設備가 必要하다.

同時에 티탄鑄物은 다른 金屬의 鑄造와 比較하면 몇 가지 長點을 나타내고 있다. 즉, 이 組織은 良好한 耐크립性, 耐波勞龜裂性, 破壞靱性 및 引張強度를 갖는다는 것이다. 또한, 티탄合金鑄物은 모든 氣孔은 高溫에서 티탄酸化物이 熔解되기 때문에 熱間等靜壓(HIP)에 의하여 完全充塡을 용이하게 한다.

鑄物氣孔의 完全 閉鎖는 鑄造하거나 機械加工한 部品에 티탄 鑄物部品이 競爭을 시킬 수 있는 것은 臨界波勞券動으로 機械的 性質을 더욱 改善할 수 있다는 것이다.

鑄造方法으로는 黑鉛鑄型法과 인베스트먼트鑄造法外에 陶器鑄型法과 砂型鑄造法이 있다.

鑄造技術 發展으로 低價의 高品質 티탄 部品을 얻어

活用할 수 있는 方法이 있기 때문에 앞으로 티탄合金鑄物 製品에 대한 使用者의 信賴와 關心이 漸次的으로 增加될 것이다.

2. 造型法

消耗性 電極아크熔解法에 의한 티탄鑄造는 機械加工을 한 高密度黑鉛鑄型을 使用하여 美國鑛務局에서 1954年에 美國에서 처음 始作하였다. 그러나, 抵抗加熱, 誘導加熱 및 텅스텐아크熔解와 같은 熔解法으로 少量의 티탄合金의 鑄造를 일찌기 1948年 使用되었으나, 工業化는 시키지 못하였다. 黑鉛造型法은 美國鑛務局에 의하여 그後 發展되어 比較的 複雜한 티탄鑄物形態를 生産할 수 있게 되었다. 이러한 工程으로 오늘날 大形船舶部品과 化學裝置部品 그리고 헬리콥터의 rotor hubs와 같은 航空機部品을 生産하고 있다. 인베스트먼트鑄造法은 1960年 中半期부터 發展되어 왔는데 주로 다양한 크기의 高品質 航空機部品에 主로 使用되었다.

黑鉛鑄型과 인베스트먼트鑄造法은 현재 티탄鑄物部品을 生産하는데 使用하는 重要한 方法이다.

附加적으로 一部部品들은 1970年 後半期에 發展된 陶器(ceramic)鑄造法으로도 鑄造되고 있다. 砂型鑄造技術은 현재 原價節減을 하기 위하여 鑄型製作에 재래식 鑄造作業을 利用하여 美國鑛務局에서 현재 發展되고 있다.

2.1 黑鉛鑄型

黑鉛鑄型은 美國에서 티탄鑄造에 대하여 오래전부터 工業적으로 실시한 鑄型製作技術이다. 適當하게 분쇄된 黑鉛粉末, 핏치, 콘시렐, 녹말 및 물로된 混合物은 鑄型斷面을 形成하기 爲하여 木材나 파이버 模型위를 다진다.

콘시렐과 녹말은 鑄型이 대기중에서 乾燥하거나 乾燥爐內에서 200℃에서 보다 짧은 期間동안 乾燥할 때 鑄

* 國民大學校工科大学教授

형에 약간의 生型強度를 준다. 그후, 鑄型部分은 構成成分을 炭化와 硬化를 일으키는 1025 °C에서 24 時間 동안 適合한 大氣와 차단한 분위기내에서 燒成한다.

어떤 경우에는 水溶性 粘結材가 混合物로 사용되는데 이것은 高溫의 燒成溫度가 必要하지 않다. 最小鑄型壁의 두께는 5 mm (0.2 in) 이다.

鑄型다짐은 容易하게 機械化될 수 없고 從來粘結材混合物를 사용하여 機械化될 수 없는 勞力이 要求되는 方法이다. 湯口와 押湯의 系統은 鑄造作業中 熔湯의 흐름을 잘되게하고, 完製品의 部分이 아닌 押湯과 湯口內에서 대부분의 收縮氣孔을 생기게 하여야 한다.

黑鉛鑄型은 아주 硬度가 높아서 鑄造部分을 釘으로 만들어야만 한다. 그후, 鑄物은 酸水溶液 탱크내에서 청정하고, (必要에 따라서 化學的 研磨나 熔接修理를 함) 그리고 良好한 表面을 얻을 수 있도록 샌드 브라스트를 실시한다. 酸洗處理도중 水素의 侵入을 防止하도록 注意를 해야만 한다. 大形 또는 複雜한 形態의 鑄物에서는 鑄型은 30 個 部分으로 組立하는것도 있다.

大形鑄型에서는 最終製品의 치수의 正確度를 얻기 위해서는 乾燥와 燒成段階中 鑄型을 때로는 管理하기가 어렵다. 大形構成品에는 가볍고, 硬度가 있고, 正確한 셸코어를 사용하거나 陶器鑄型을 사용함으로써 改善할 수 있다.

2.2 陶器鑄型

이 方法은 陶器鑄型조각으로 된 良好한 鑄型으로 正確度와 再生性이 있는 特許法으로 木型으로 製造된다.

이 方法은 黑鉛鑄型보다는 高價인 方法인데 鑄物로부터 除去하기가 더 어렵다. 이 方法은 水中翼船의 워터제트펌프의 임펠러와 같은 精密한 치수가 요구되는 大形部品에 가장 適合하다.

2.3 인베스트먼트 鑄造法

이 方法에서는 왁스 模型에 射出造型法에 의하여 製造된다.

지나친 크기의 왁스 사출용 空隙部는 왁스 陶器型과 티탄合金收縮을 고려하여 製造한다. 그 후 왁스模型을 陶器와 벽토의 슬러리내에 담갔다가 건조시킨다.

이 方法은 燒成에 의하여 硬化시킨 후 熔湯壓에 견딜 수 있는 充分한 強度를 가진 陶器셸을 만들어 주기 위하여 數回 反復한다. 왁스模型은 水蒸氣 加壓솥내에서 除去되는데 最小鑄型 두께는 1.0 mm (0.04in) 이다. 鑄型왁스 模型生産의 射出, 슬러리內 담그는 過程과 클러스터 (cluster) 模型은 大量生産을 할 수 있

도록 自動化되게 한다.

陶器셸은 眞空아크爐의 鑄型室內에 놓는다. 鑄造는 熔湯의 흐름을 잘 되게 하는 遠心 테이블이나 더 간단한 셸의 高溫豫熱한 후 重力注入을 한다.

陶器셸은 湯口系 역시 鑄造후 除去한다. 인베스트 鑄造는 매우 良好한 치수의 管理를 할 수 있고 高品質의 航空機機關部品の 生産에 적합하다.

300 kg (650 lb) 까지의 鑄物도 현재 이 方法에 의하여 製造할 수 있다.

2.4 砂型 鑄造

砂型 鑄造는 가장 普遍的이고 가장 값이 싼 作業方法이다.

그러나 요즘은 在來式 砂型의 反應性 問題때문에 티탄合金에는 사용되지 않고 있다. 최근에 美國鑛務局에서는 지리콘 酸化物로 피복된 砂型을 사용하여 티탄合金에 砂型鑄造法에 대하여 研究하고 있다. 이 方法은 다른 作業方法에서 보다 表面狀態가 좋지 않아 매우 한정된 경우에만 사용되는 것으로 報告되고 있다. 砂型鑄物은 매우 값이 싼것으로 주로 船舶과 化學工場設備에 利用되고 있다.

3. 鑄物製品의 生産工程

液相티탄의 높은 反應性 때문에 티탄合金用 電極은 保護被膜을 形成하는 水冷式銅도가니로나 眞空爐內에서 아크熔解한다. 프랑스의 Messier Fonderie D' Arudy 는 電子빔 熔解를 사용하고 있다. 遠心테이블 鑄型室에 연결되어 있는 熔解 chamber 를 가진 熔解裝置는 Fig.1. 에 나타내고 있다. 遠心테이블은 最大可能密度로 鑄型을 채우는데 유리한데 大形鑄物部品에 특히 重要하다.

鑄物의 酸素含有量은 熔解材料에 따라 다른데 低酸素 ingot 材料는 低酸素 鑄物을 만드는데 유리하다. 적합하게 再循環된 티탄合金材料의 使用은 酸素含有量을 增加시키나 生産原價를 低下시키는데는 기여할 것이다. 化學的 均質性의 理由때문에 鑄造前 塊를 만들고 사용하는 경우도 있다. 그러나 再熔解段階는 酸素量을 增加시킨다.

티탄鑄物部품을 製造하는 過程의 전형적인 단계를 설명하기 위하여 인베스트 鑄造法에 대하여 製造하고 있는 狀況을 Fig.2. 에 나타내었다.

이 狀況은 가스터빈機關과 航空機部品에 대한 完全한 成分의 鑄物을 製造하기 위한 代表的인 것이다.

- 1. 전극
- 2. 도가니
- 3. 환넬
- 4. 탕구
- 5. runner bar
- 6. 주형
- 7. 탕도봉
- 8. 주형공격부
- 9. 압탕
- 10. 턴테이블
- 11. 용기셀
- 12. 턴테이블구동기
- 13. 경동장치
- 14. 통

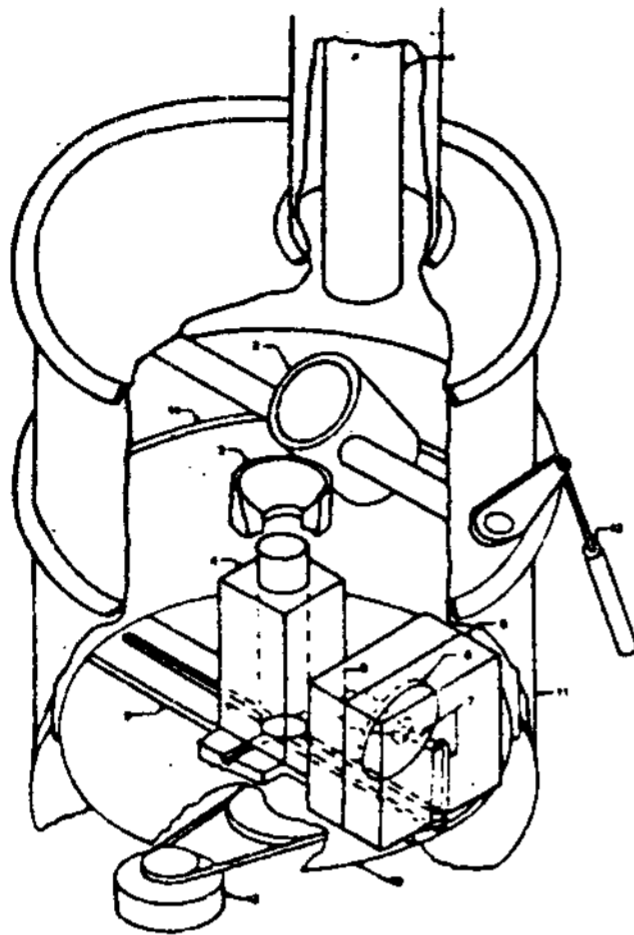


Figure 1. Schematic of a vacuum arc furnace for casting titanium, equipped with a centrifugal table.

4. 經濟性과 用途

티탄鑄物의 主要한 用途는 航空機, 化學工場과 에너지 工場이다. 航空機의 典型的인 利用은 鑄物部品の 로만 요구되는 반면 化學工場과 에너지 工場은 耐蝕性이 設計나 材料의 選擇에 主要한 考慮 事項으로 주로 大型鑄物로 사용된다. 航空機의 部品은 주로 Ti-6Al-4V로 製造되어 인베스트먼트 鑄造法에 의하여 製造된다.

大型 高品質의 航空機 部品은 黑鉛鑄型이나 陶器鑄型에 의하여 製造된다. 中形과 大形크기의 部品은 黑鉛鑄型 技術로 1파운드당 \$20~\$120의 (임펠러 같은 小型部品은 高價) 範圍의 生産價로서 부품을 생산할 수 있다. 앞으로는 티탄鑄物의 값이 인베스트먼트 鑄造法의 改善된 工程과 自動化에 의하여 節減된 것이다. 永久陶器 鑄型和 砂型의 사용으로 大形鑄物에 대하여 값이 싸질 것이다. 그러나 현재 原價는 鍛造된 티탄製品 보다 실제로 價格이 싼 鑄造는 造形技術의 모든 잇점을 가지고 있다. 오늘날 티탄鑄物은 대부분 모든 가스터빈 엔진과 일부 商業用 및 運事用 飛行機와 스페이스샷틀에 사용되고 있다. 티탄鑄物은 현재 美國, 소련, 日本, 西獨, 벨지움, 프랑스 및

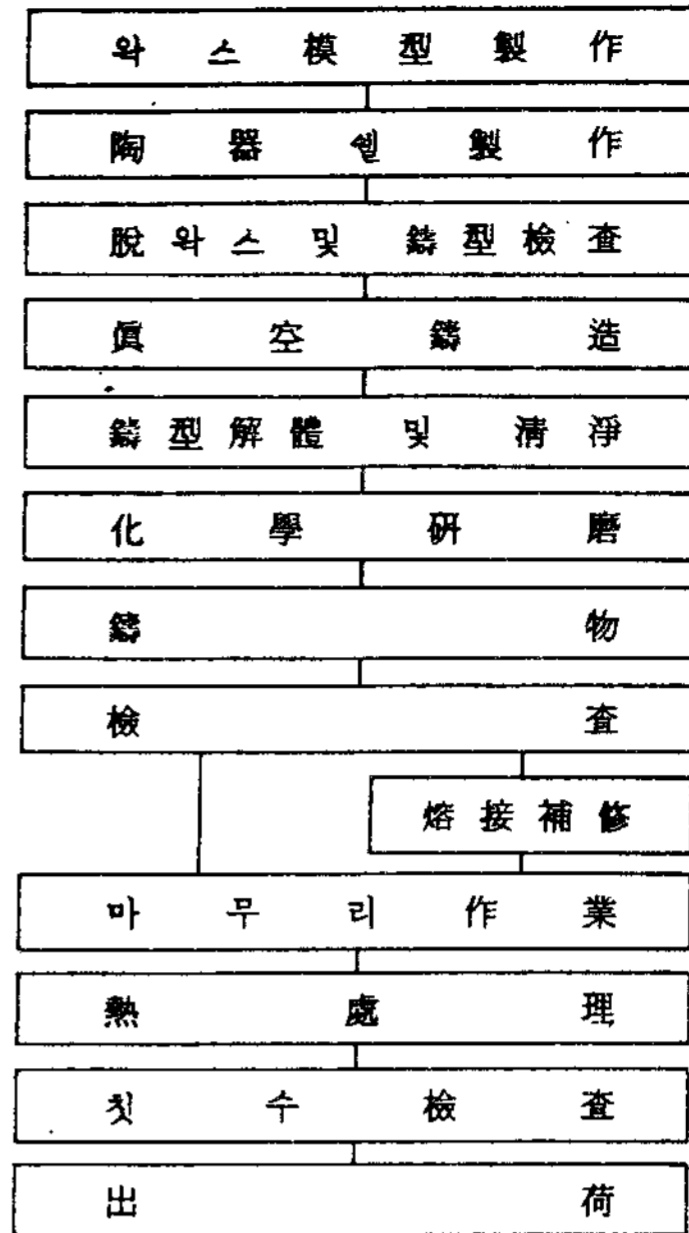


Fig.2 Process diagram of high-integrity titanium investment castings.

中共에서 生産되고 있다.

5. 未來의 展望

티탄鑄物 部品の 需要의 增加될 3가지 發展方法은 原價節減과 改善된 造型製作 (치수의 管理, 再生性, 크기의 增加, 얇은 斷面, 작은 半徑 및 表面美麗)과 기계적 性質 特히 波勞의 向上이다. 成分을 알고 있는 古鐵의 사용과 自動化할 수 있는 砂型鑄造, 低價의 操業方法의 發展으로 鑄物製品의 原價를 節減시킬 것이다. 또한 티탄鑄物의 組織은 슈퍼 알로이 鑄物에 대하여 이미 사용되고 있는 方法과 비슷하게 β粒度的 조절을 할 수 있는 接種劑의 開發로 이루어 지고 있다. 또한, 鑄物製品 生産過程의 主要한 工程으로서 HIP의 사용으로 더욱 發展되게 하였다. 그러나 HIP法은 原價를 증가시킨다는 것을 명심해야 한다. 그러나 HIP法이 氣孔率을 除去할 수 있고 廣範圍한 湯口系와 押湯을 사용하지 않고 깨끗한 表面을 얻는 手段이다. 따라서 原價에 미치는 영향은 製品에 따라 判斷해야만 한다. 造型部內에서 陶器鑄型法의 사용은 複雜하고 치수의 正確度가 要求되는 것을 해석하게 하였다. 또한 컴퓨터에 의한 設計, 컴퓨터에 의한 製造 및 컴퓨터에 의한 檢査의 利用도 造型管理에 效果的으로 될 것이다.