

最近의 精密鑄造法

* 錦 識 德 郎

** 姜 春 植 譯

1. 머리말

지금으로부터 9年前 筆者는 本誌 “鑄物노트” 에 “로스트 왁스” 라는 題名으로 精密鑄造法의 特徵, 適用例, 製造法, 金型材料等에 對해서 概說하였다.

前回와 重複을 避하기 爲해, 今回에는 이미 前回에 記載한 內容에 關해서는 割愛하였으므로, 이를 參考하기 바란다. 그래서 今回에는 精密鑄造의 製造技術에 關해서 最近 話題가 되어 있는 몇가지 方法에 關해서 紹介한다.

2. 金型에 超塑性 金屬의 利用

왁스 模型成型用金型은 機械加工에 依해서 雌型으로 만들어 지는 것이 가장 많이 使用되고 있다.

雌型의 主模型을 本으로 해서 低融合金의 鑄造 또는 스프레이에 依해 이것을 反轉해서 雌型으로 한 것이 다음으로 많이 쓰이고 있다.

이들 外에 超塑性金屬의 開發이 進行됨에 따라서, 上下型으로 2分割되고 簡單한 金型에 對해서 超塑性金屬의 利用이 增加되어 가고 있다.

超塑性金屬金型은 機械加工으로 만든 雌型보다도 값이 싸고 또 低融合金의 鑄造, 스프레이로 만든 雌型보다도 製造가 쉽다.

超塑性金屬으로 金型을 만드는 경우에는 핫·호밍法이 利用되고 있다.

超塑性金屬은 多種이 있는데 그 中에서 Zn-Al 22% 合金이 많이 쓰여지고 있다.

이 合金은 200~275℃의 溫度에서 잡아늘리면 500~2,000%의 延伸을 나타낸다.

即, 超塑性金屬은 어떤 特定의 溫度에서 대단히 塑性變形되기 쉬운 性質을 갖고 있으므로, 이 性質이 金型製作에 利用되고 있는 것이다.

* 石川島 播磨 重工業株

** 서울대·공대 교수, 당학회 이사
주조 Vol.2, No.4 (1982)

金型製作에 있어서는 油壓 핫 프레스機를 쓴다. 加熱된 金屬製의 상자안에 超塑性合金素材를 넣고, 下部 熱加壓板으로 加熱하고, 上部 熱加壓板에 主模型에 相當하는 호브를 붙여서, 金屬製의 상자內의 超塑性合金素材를 上下方向으로 프레스해서 호브를 눌러 넣고, 所定의 모양으로 한 雌型을 만든다.

上下型을 平面으로 分割하는 簡單한 모양에 適當하다.

3. 鑄型製作의 自動化

精密鑄造法에는 예전 소리드·몰드法과 세라믹·셀·몰드法이라고 불리는 2가지의 製造法이 있는데, 最近에는 高價의 소리드·몰드法은 거의 자취를 감추었고, 값이 싼 세라믹·셀·몰드法만으로 되어 있다.

이는 鑄型製作技術의 向上과, 鑄型品質의 安定에 基因하는 點이 크다.

또, 低價라는 點 以外에도 鑄造品質의 面으로부터 보아서도, 소리드·몰드法과 比較해서 치수의 變動이 約 半으로 減少하고, 機械的性質의 再現性이 좋고, 機械的性質이 좀더 向上하는 등의 利點이 있다.

세라믹·셀·몰드法에서는 鑄型製作에 있어서 왁스模型의 주위에 耐火物을 코팅해서 6~7mm程度 두께의 耐火物層을 形成해서 할 때에, 耐火物 스텔러로의 담금, 耐火物粒의 스택코잉, 乾燥의 3가지 作業을 反復 6~7회 되풀이 해서 作業이 簡單하게 되어 自動化機械의 導入을 쉽게 하였다.

鑄型製作의 自動化 라인의 一例를 그림 1에 나타낸다.

로봇트 2臺, 담금槽 7基, 스택코槽 3基가 코

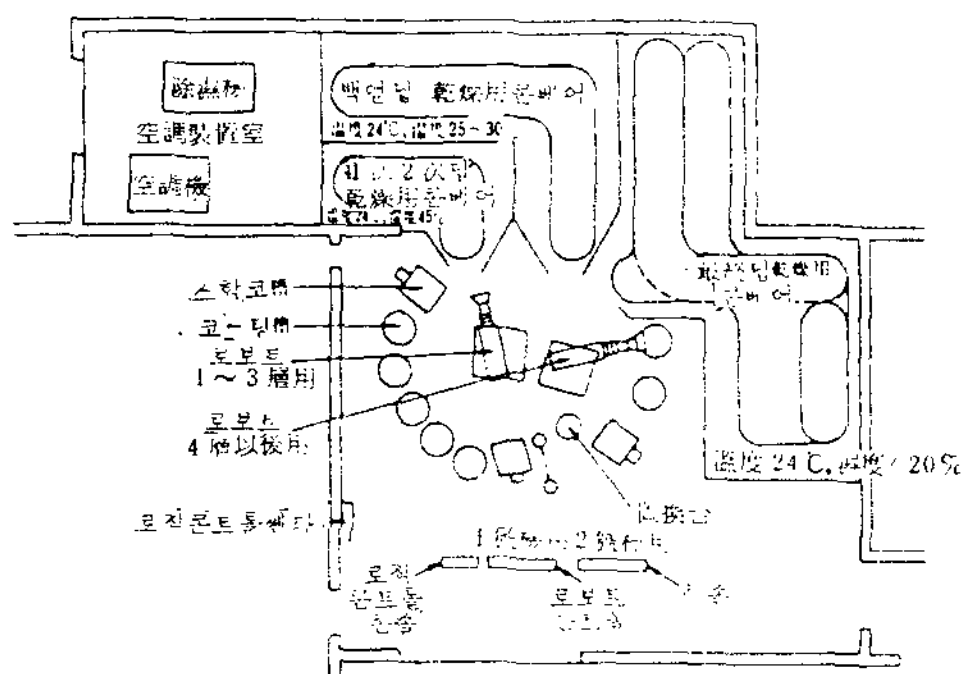


그림 1 自動化 셀 造型라인

팅실에 있고, 乾燥室은 第3의 房에 따로 떨어져 있다.

1, 2層은 같은 방에서 乾燥한다.

이 房은 콘베어가 2段으로 되어 있다.

1層에는 담금, 스탁코팅된 다음 下段 콘베어에 달아 맨다.

1, 2層用의 乾燥室의 溫濕도는 溫度 24℃, 濕度 45%이다.

3層以後의 백·엿·코트層은 옆의 房에서 乾燥한다.

이 房의 溫濕도는 溫度 24℃, 濕度 25~30%이다.

最終層의 乾燥는 다시 옆 房에서 한다.

이 房의 溫濕도는 溫度 24℃, 濕度 20% 以下이다.

1臺의 로봇트가 1層으로부터 3層까지를 맡아서 하고, 4層以後를 1臺의 로봇트가 맡고 있다.

3層의 스탁코팅이 끝난 後, 1臺의 로봇트로부터 또 1臺의 로봇트에 왁스模型크로스터를 옮기기 爲해서, 로봇트 사이에 置換을 하는 臺가 있다.

이와같은 配置로 하면, 人力에 依한 作業으로 하는 때에 比較해서 코팅의 生産性이 75~80%가량 向上된다고 한다.

4. 래피드·셀·프로세스

鑄型製作에 있어서 自然乾燥의 경우에는, 各層의 코팅의 間隔은 2~4時間가량 놓아 두어서, 充分히 乾燥한 뒤에 다음의 코팅으로 옮기도록 하지 않

으면 鑄型缺陷을 일으킨다.

이와같이 鑄型製作中에서 가장 時間이 걸리는 것은 코팅層의 乾燥이다.

옛부터 이 乾燥時間의 短縮에 對해서는 많은 研究가 되어 왔다.

그래서 몇가지의 方法이 利用되고 있다.

強制通風乾燥에 依한 方法, 암모니아 가스로 凝胶化하는 方法, 스탁코팅에 鹽基性物質을 섞는 方法 酸性粘結劑와 鹽基性粘結劑를 서로 利用하는 方法 등이 여기에 該當된다.

強制通風乾燥에 依한 方法, 암모니아 가스로 凝胶化시키는 方法, 스탁코팅에 鹽基性物質을 섞는 方法 등은 옛부터 利用되고 있었으나, 酸性粘結劑와 鹽基性粘結劑를 交互로 利用하는 方法은, 最近 利用하게 된 方法이다.

酸性粘結劑와 鹽基性粘結劑를 交互로 利用하는 方法은 많은 組合方法을 생각할 수 있다.

2~3의 例를 들자면

1) 에틸 시리케이트 粘結劑가 酸性 pH 1~2 인 것에 對해서 코로이달시리카 粘結劑가 鹽基性 pH 9.2~10 인 것을 利用해서, 이 兩者의 스러리를 交互로 코팅하고, 서로 그의 pH를 變化시켜서 凝胶化를 促進시킨다.

코로이달시리카는 一般으로 9~10의 範圍가 가장 安定하고, 다음에 3~4範圍가 比較的 安定하다.

中性範圍가 가까와 짐에 따라 不安定하게 되어, 솔로부터 겔로 變化되어 간다.

2) 酸性粘結劑로서 에틸시리케이트를 使用하고 鹽基性粘結劑로서 珪酸나트리움을 使用한다.

珪酸나트리움은 鹽基性이 그처럼 强하지 못하므로, 여기에 水溶性 암모니움 鹽을 少量 添加한다.

即, 이 두가지의 스러리를 交互하여, 相互의 凝胶化를 促進시킨다.

3) 酸性粘結劑로서 酸性코로이달시리카를 使用한다.

酸性코로이달시리카는 中性에 가까워지면 凝胶化하여, 鹽基性코로이달시리카로 中性에 가까워지면 凝胶化하는 性質을 利用하고 있다.

兩스러리를 交互로 使用함에 依해서 凝胶化를 促

進시킨다.

코팅作業을 自動化 할 때 乾燥에 時間이 걸리면, 乾燥때문에 콘베어라인이 길어져서, 상당히 넓은 場所를 必要로 하게 된다.

래피드·셀·프로세스는 코팅層間의 乾燥를 아주 짧게 할 수 있으므로 鑄型製作室을 적게 할 수 있다는 利點이 있다.

암모니아가스로 醗化시키는 方法, 스탁코粒에 鹽基性物質을 섞는 方法, 酸性粘結劑와 鹽基性粘結劑를 交互로 利用하는 方法等은 粘結劑가 pH에 依해 醗化時間이 急激히 變化한다고 하는 性質을 利用한 方法이다.

5. CLA 프로세스

예전부터 있는 鑄造方法은 重力鑄造法, 反轉加壓鑄造法, 吸引鑄造法, 遠心鑄造法 等이 있는데, 이들과는 아주 다른 特殊한 鑄造法이 最近 開發되었다.

이 方法은 鑄込한다고 하기 보다는 熔湯을 鑄型內에 빨아 올리는 鑄造法으로 CLA 프로세스라고 불리고 있다.

CLA 프로세스는 그림에서 나타내고 있는 것 처럼 鑄型을 湯口를 밑으로 해서 湯口의 끝을 나오도록 해서 容器의 속에 넣고, 湯口를 熔湯에 잠가서 容器를 眞空펌프로 減壓해서 熔湯이 鑄型의 안에 吸込되도록 한다. 製品의 部分에 充滿해서 凝

固하면 容器內를 大氣壓으로 다시 돌려서 湯道, 湯口等에 있는 未凝固의 熔湯을 熔解爐로 다시 보낸다.

10 kg程度의 熔湯을 1~2 min로 鑄型內에 빨려 올려지게 된다.

이때의 減壓은 300~370 mmHg 이다.

15~20 秒로 容器를 大氣壓으로 되돌려서 나머지의 熔湯을 容器로 되돌려 준다.

鑄型 6個를 3分程度로 鑄込을 끝낼 수가 있다.

또, 0.3 mm程度의 얇은 두께의 것도 쉽게 될 수 있다고 한다.

製品部의 熔湯이 凝固한 後, 湯道의 部分의 熔湯은 熔解爐에 되돌려 질 수가 있어서 鑄込의 回收率이 過去의 方法과 比較해서 무척 向上된다.

即, 製造費의 節約에 寄與한다.

6. 一方向凝固法

젯트 엔진의 高壓터빈의 1, 2段의 터빈翼에는 最近에는 一方向凝固柱狀晶組織의 精密鑄造翼이 一部의 엔진에 實用되고 있다.

이는 精密鑄造翼의 매크로組織이 柱狀晶으로 되어 있어서, 結晶이 翼의 軸方向과 같은 方向으로 成長되어 있다.

過去의 結晶微細化組織의 매크로組織은 사진 2처럼 되어 있고, 아주 다른 組織으로 되어 있다.

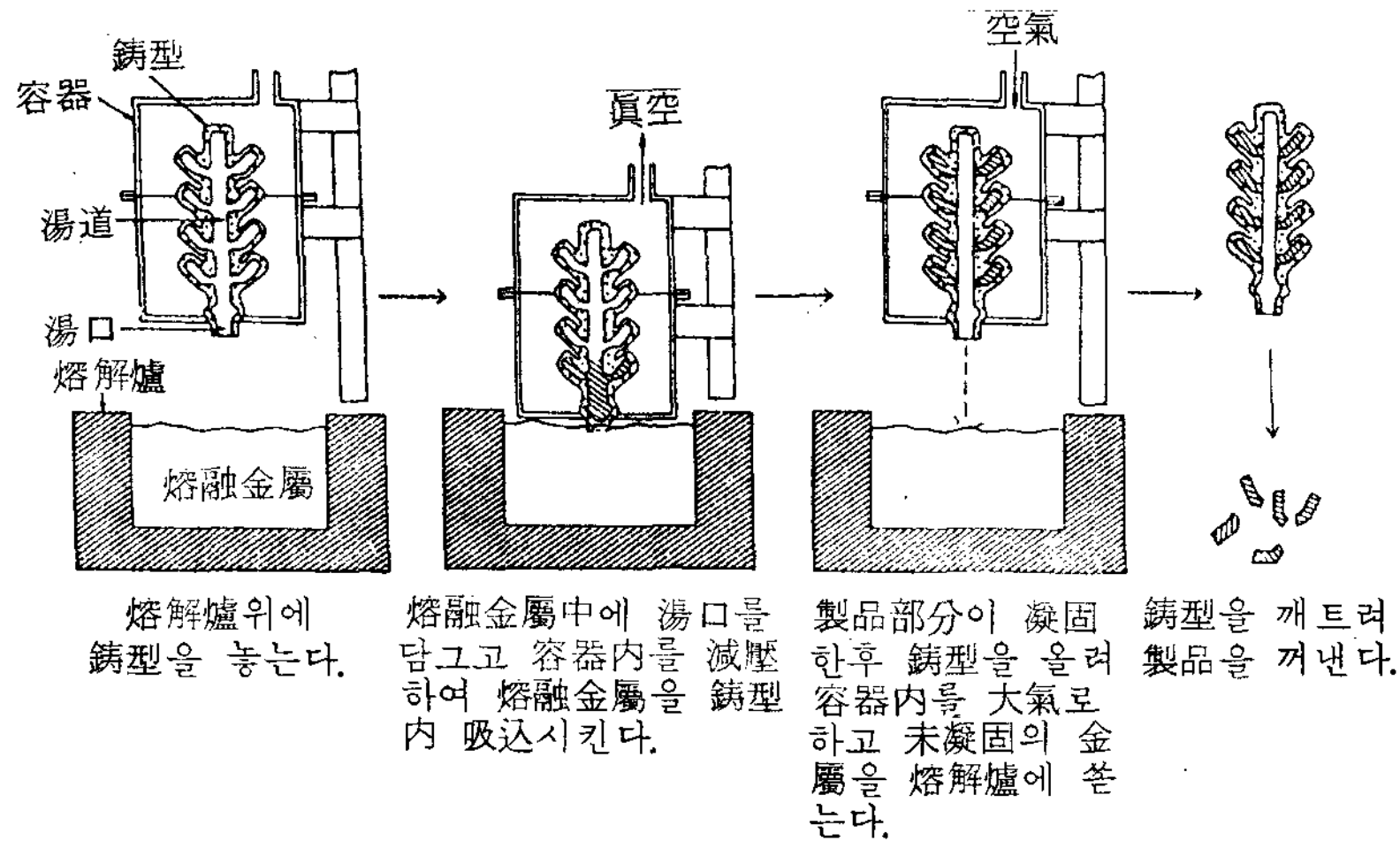


그림 2 CLA 프로세스鑄組法

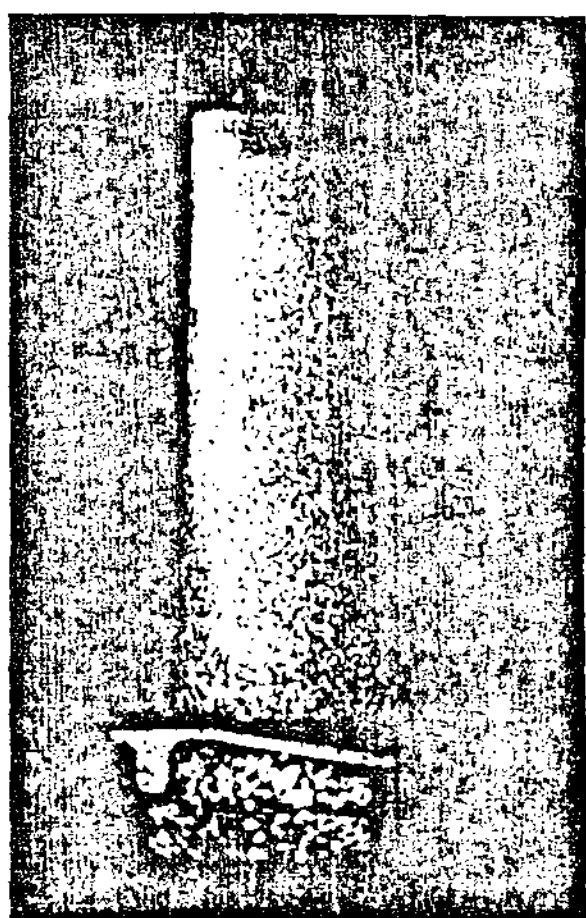


사진 1 結晶粒微細化組織

一方向凝固柱狀晶組織의 터빈翼은 結晶微細化組織과 比較하고 表 1에 나타내는 것처럼 熱疲勞性質이 아주 向上된다.

또, 一方向凝固法에 依해서 터빈翼全體가 1個의 結晶으로 되어 있는 單結晶組織翼도 만들 수 있게 되었다.

單結晶組織翼은 一方向凝固柱狀晶組織翼과 比較해서 熱疲勞性質이 상당히 向上된다.

單結晶組織翼은 實際의 飛行機에는 쓰여지지 않고 있으나, 가까운 將來에 實用可能性이 높다고 할 程度로 開發이 進行되어 있다.

一方向凝固柱狀晶組織의 精密鑄造翼의 製造法에도 凝固時에 結晶을 成長시키고져 하는 方向으로, 될수록 큰 熱勾配를 鑄型에 붙여 주는 것이다.

이는 本質的으로는 健全한 鑄物을 얻기 爲해 쓰고 있는 指向性凝固를 增進시키는 技術의 延長이다.

이것에는 鑄込된 熔湯의 一端을 良好한 熱傳導體의 水冷銅板과 接觸시켜, 이곳으로부터 凝固가 開始되도록 한다.

冷却板 以外의 어느 곳으로부터도 凝固가 始作되지 않도록 하기 爲해서 鑄型을 熔湯의 融點以上으로 溫度를 保存하도록 한다.

凝固가 進行됨에 따라서 冷却板으로부터 發生한 結晶은 高熱點에 向해서 成長해 간다.

一方向凝固를 增進시키기 爲해서 鑄型空間의 溫度를 充分히 긴 時間 金屬의 融點以上으로 保存해

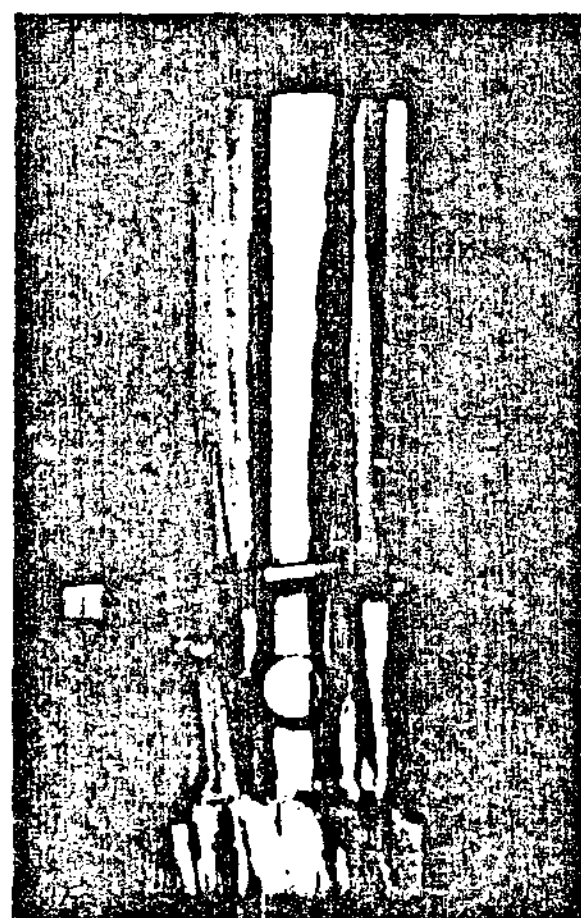


사진 2 一方向凝固柱狀晶組織

表 1 터빈브레이드의 매크로組織과 熱波勞

合金	溫度 (°C)	最初の 龜裂이 生길때까지의 回數			
		微細化組織		一方向凝固組織	
		前緣 R=0.95mm	後緣 R=0.51mm	前緣 R=0.95mm	後緣 R=0.51mm
713C	950	60	60	2200	160
		60	85	1500	155
	1000	25	30	1550	170
		20	40	1760	200
MAR-M 246	1050	20	20	凝固速度 102mm/hr	
				> 500	190
		20	15	410	280
				凝固速度 381mm/hr	
540	360				
1100	10	2	> 460	> 460	
IM100	1050	12	12	290	190
		25	20		

注) 凝固速度記載 없는 個所는 381mm/hr

주기 위해서는 熱이 鑄型空間에 供給되지 않으면 안된다.

그러기 爲해서는 造形性이 있는 發熱材料로 鑄型을 둘러싸든가 또는 最初로부터 鑄型을 電氣的으로 加熱되어 있는 주위안에 놓든가 한다.

이 주위는 抵抗體에 따르든가 또는 誘導코일에 依해서 加熱된 黑鉛씨뿔터에 따르든가 한다.

그림 3에는 一方向凝固用眞空熔解鑄造爐의 一例를 나타내고 있다.

鑄型의 加熱은 黑鉛씨뿔터에 依한 方式이다.

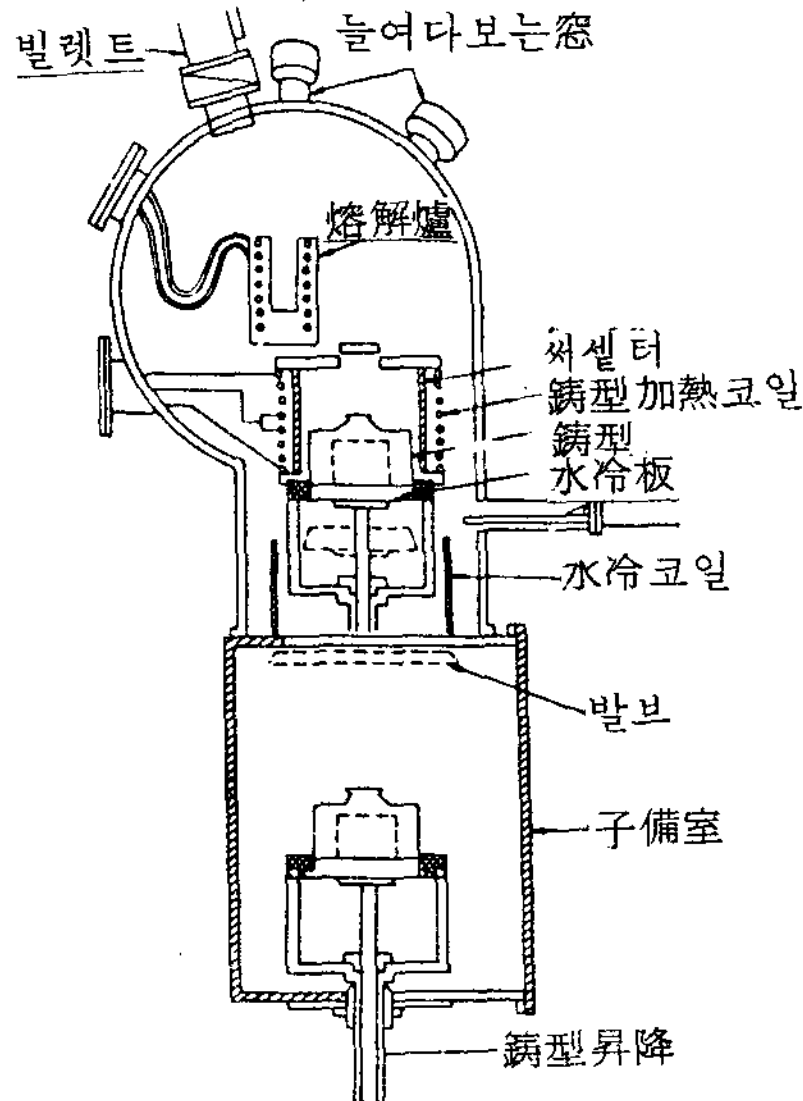


그림 3 一方向凝固用眞空熔解鑄造爐

爐의 構造는 上下 2室로 나뉘어져 있고 위가 熔解室, 밑이 鑄型室이다.

熔解室에는 鑄型加熱爐가 있다.

結晶의 成長은 冷却板위에 놓여져 있는 鑄型을 冷却板과 함께 아주 천천히 내림으로서 促進된다.

7. 티타늄합금의 精密鑄造

티타늄합금의 精密鑄造品은 比重이 낮고, 強度가 높으며, 耐蝕性이 좋으므로 耐熱性을 그렇게 많이 必要로 하지 않는 部分에 使用하여 왔다.

특히 航空엔진部品으로서 많이 使用하여 왔다.

代表的인 鑄造合金은 Ti-6Al-4V이다.

티타늄합금은 熔解中 酸化하기 쉽고, 鑄型材料와 反應하기 쉽고, 收縮巢가 생기기 쉬운 缺點이 있으므로 鑄物을 만들기가 힘들다.

그래서 健全한 精密鑄造品을 얻기 위해서는 다른 精密鑄造品과는 다른 特殊한 製造裝置, 後處理가 必要하다.

熔解는 眞空熔解를 하는데 熔解中 도가니材料와 反應을 일으켜서 酸化하기 때문에 耐火物熔解도가니를 使用할 수가 없다.

그래서 水冷銅도가니를 쓴다.

이 熔解에는 스킨熔解라고 일컫는 方法을 使用하고 있다.

주조 Vol. 2, No. 4 (1982)

水冷銅도가니속에서 티타늄합금을 熔解하면 水冷銅도가니內壁에 接觸한 熔湯은 식어서, 凝固해서 도가니의 內壁에 붙어있는 狀態가 된다.

티타늄합금은 同質의 材料로 둘러 쌓여진 도가니안에서 熔解되는 狀態로 되므로 도가니材料와의 反應은 없다.

鑄込이 끝난 後 도가니로부터 도가니안에 둘러쌓인 것을 끄집어 내면 이것이 頭蓋骨모양으로 보이므로 이 熔解法을 skull melting 이라고 하고 있다.

熔解中에는 늘 熔湯이 水冷銅도가니에 依해서 식혀져 있어서 熔湯溫度를 올릴 수가 없다.

그래서 도가니로부터 靜止鑄型에 鑄込을 하면 湯回不良을 일으키기 쉽다.

그래서 鑄型을 回轉시켜서 遠心力을 利用해서 熔湯을 壓入한다.

即, 遠心鑄造를 併用하는 것이 普通이다.

鑄込도 眞空中에서 한다.

熔解는 도가니에 水冷銅도가니를 使用하므로 高周波誘導爐眞空法을 쓸 수가 없다.

그래서 消耗電極眞空아-크熔解法이나 電子빔眞空熔解法이 쓰여지고 있다.

兩者는 一長一短이 있는데 消耗電極眞空아-크熔解法쪽이 熔解에 있어서의 合金成分의 變動이 적다든가, 라이닝 코스트가 적다는 등의 理由로 一般으로는 消耗電極眞空아-크熔解法이 쓰여지고 있다.

鑄型에는 세라믹 셸 鑄型이 쓰여지고 있는데, 熔湯과 接觸하는 鑄型의 內壁面에는 티타늄합금과의 反應性이 적은 材質의 耐火物이 使用된다.

티타늄합금精密鑄造品의 表面汚染層의 生成을 鑄型材質의 選擇에 依해서 적게하는 것은 可能하나, 完全히 없앨 수는 없다.

Krone 등⁵⁾의 實驗에 따르면 Nb, Mo, W, Ta 등의 金屬元素와 酸素結合된 알루미늄·시리게이트가 좋다.

또 Schugler⁶⁾ 등의 實驗에 따르면 酸化이트리움이 좋다고 말하고 있다.

Ti-6Al-4V 精密鑄造品의 表面汚染層은 0.08 ~ 0.2mm 程度의 두께이다.

이 表面汚染層의 두께는 鑄物表面의 酸素濃도에

따라 다르고 酸素濃度가 높아 질 수록 두껍게 된다.

이 表面汚染層을 남긴대로 놓아 줄것 같으면 機械的性質이 나빠진다.

그런데 케미칼 밀링 또는 機械加工에 依해서 表面汚染層을 除去함으로써 疲勞壽命이 最大로 向上된다.

그림 4⁷⁾에 Ti-6Al-4V 精密鑄造品の 疲勞壽命에 미치는 後處理方法의 影響을 나타낸다.

케미칼·밀링方法은 HF-HNO₃ 溶液槽안에 浸漬시켜서 表面汚染層을 溶解除去한다.

熱處理는 843℃, 2時間 不活性가스雰圍氣中에서 하고 있다.

HIP 處理는 899℃, 1050 kg/cm²壓, 2時間 알곤雰圍氣中에서 한다.

8. 高品質 熔팅 스톱

高品質이 要求되는 航空엔진의 高壓터빈翼에는 眞空熔解니켈基 耐熱合金이 利用되고 있는데, 그 合金의 熔팅 스톱의 品質에 따라서 터빈翼의 不良率이 크게 左右된다.

터빈翼의 不良의 大部分은 사이그로檢査에서 發見되는 대단히 작은 非金屬介在物이다.

最近 이들의 非金屬介在物에 依한 缺陷에 對한 對策研究가 활발히 進行되고 있다.

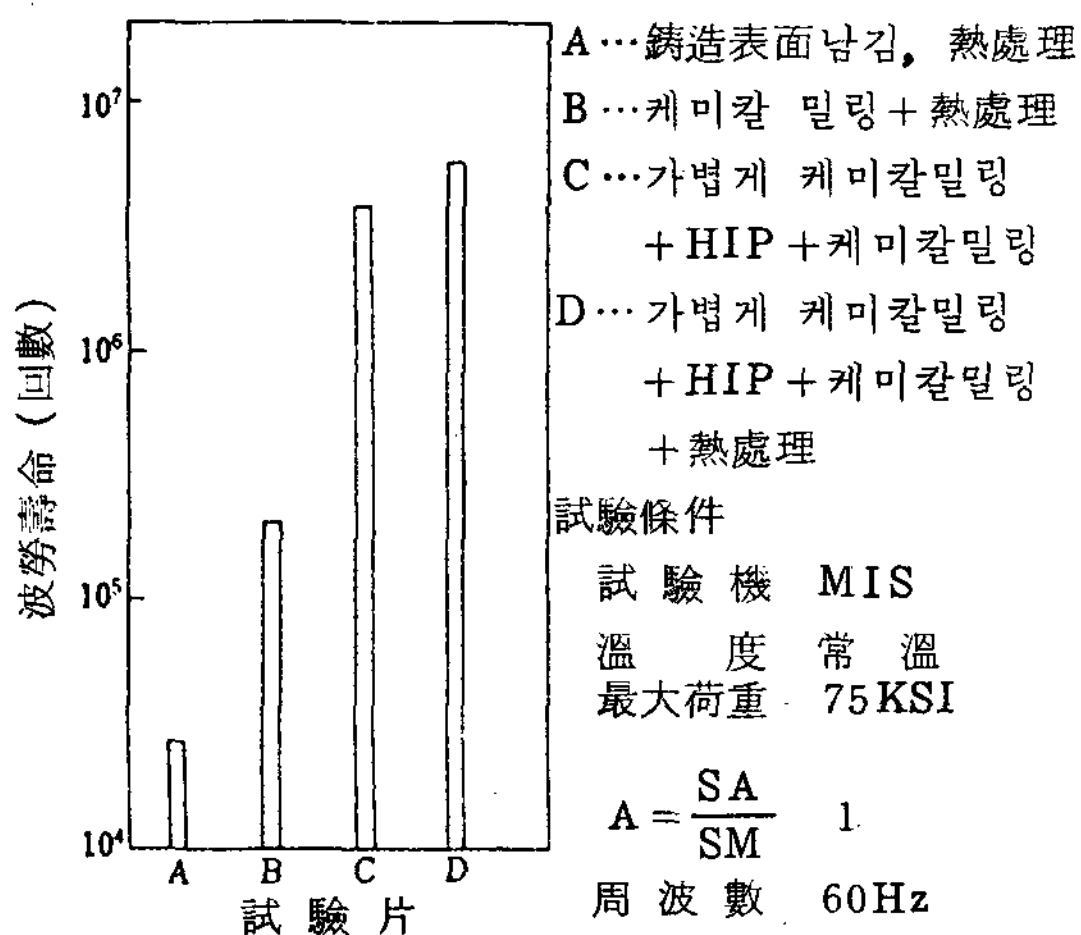


그림 4 Ti-6Al-4V 로스트왁스鑄造品の 疲勞壽命에 미치는 後處理方法의 影響

非金屬介在物에 依한 缺陷은 熔팅 스톱中에 含有되는 窒素量, 酸素量이 크게 影響을 끼치고 있음을 알게 되었다.

예를들면, IN100 (代表成分, 重量%, C 0.17, Cr 10.0, Co 15.0, Mo 3.0, V 0.9, Al 5.50, Ti 4.60, B 0.015, Zr 0.06, Ni 殘)이라고 하는 眞空熔解니켈基 耐熱合金은 密度가 比較的 낮고 또 高溫強度가 優秀하기 때문에 터빈翼 材料로서 널리 利用되고 있는데 鑄物을 만들때에 非金屬介在物, 熱間龜裂, 微細한 포로시티 등의 缺陷이 發生하기 쉬워서 鑄物을 만드는 立場으로부터 볼 것 같으면 鑄造性이 좋은 合金이라고는 할 수가 없다.

Harris⁸⁾의 實驗에 依하면 窒素量 20ppm, 酸素量 31ppm의 IN 100 熔팅 스톱으로 터빈翼을 鑄込하였을 때 非金屬介在物에 依한 사이그로缺陷이 많이 發生하였는데, 熔팅 스톱의 熔解精鍊法을 改良해서, 窒素量 8~14 ppm, 酸素量 4~11 ppm으로 낮추면 非金屬介在物에 依한 사이그로缺陷이 대단히 적어 졌다고 한다.

또한 窒素量, 酸素量을 적게 하는 熔解法의 研究가 進行되고 있다.

9. 脫砂法의 改良

녹·아웃 매신에서 鑄型을 깨트리고 鑄物을 꺼낸 後에 高速切斷機로 湯道等を 切斷除去하고 솔트부라스트, 샌드부라스트에 依해서 붙어 있는 耐火物을 除去한다.

以上은 乾式脫砂法인데 濕式에 依한 脫砂法으로서 워터·젯트法이든가 水中放電衝擊法等이 있다.

워터·젯트에 依한 方法은 알루미늄合金, 마그네슘合金精密鑄造品の 脫砂에 利用되고 있다.

大體로 70~140 kg/cm²程度의 加壓水를 노즐을 통해서 鑄物에 부딪치게 한다.

乾式法과는 달리 쇼트나 샌드에 依한 鑄物의 磨滅이 없다는 利點이 있다.

最近에는 워터젯트法은 鋼의 精密鑄造品에도 利用되어 지고 있다.

이 경우에는 300~350 kg/cm²의 超高噴射水를 노즐을 통해서 鑄物에 부딪치게 한다.

水量은 20~30 l/min 程度이다.

水中放電法⁹⁾은 直接法과 間接法이 있다.

直接法은 水中에서 鑄物과 電極棒과의 사이에 放電을 일으켜 兩者사이에 스틱 채널을 만들어 그 衝擊波로 鑄型을 破壞하여 脫砂를 하는 方法이다.

間接法은 水中에서 한다는 點에서는 變化가 없으나 鑄物과 電極棒과의 사이에 直接放電하는 것은 아니고, 2本の 電極棒을 鑄物에 가깝게 向하여 合해 놓아, 電極棒끼리 放電을 일으켜 兩者間에 스틱 채널을 만들어 그 衝擊波로 間接적으로 鑄型을 破壞하여 脫砂를 하는 方法이다.

水中放電衝擊法은 큰 精密鑄造品の 脫砂에는 단지 一部の 工場만이 實用化試驗을 進行하고 있는 段階로서 아직 一般的은 아니다.

세라믹·코어를 除去하는 경우에는 워터 제트法으로 除去하는 경우도 있으나 이것은 크기가 큰 一部の 것에 限하고 있고, 普通으로는 化學적으로 세라믹·코어를 熔融해서 除去한다.

500℃ 程度의 熔融苛性소다中에 鑄物을 浸漬하고 30分~1時間 程度로 세라믹·코어를 熔融한다.

普通의 모양의 코아는 이 方法으로 充分히 除去할 수가 있으나, 가늘고 긴 모양이나 얇고 긴 모양의 코아의 경우에는 긴 時間이 걸리고, 鑄物이 腐蝕되는 缺點이 있다.

이들의 缺點을 解決하는 有效한 方法으로서 보이링法이 있다.

이 方法은 오토 크레이브를 써서 그 안에 稀釋된 苛性소다 또는 苛性가리를 넣고 加熱하고, 오토 크레이브內의 壓力을 增減시켜 加壓減壓을 되풀이해서 溶液에 沸騰攪拌을 일으켜서 코아를 除去하는 方法이 있다.

稀釋한 苛性소다 또는 苛性가리를 使用할 수 있다는 것과 溶液溫度를 200℃ 以下로 내려서 作業을 할 수 있으므로 鑄物의 腐蝕을 아주 적게 할 수가 있다.

이 方法은 特히 적은 斷面의 코아, 예를들면 터빈브레이드의 冷却空氣通路用의 코아 등의 除去에

상당히 效果가 있다.

10. 맺 음 말

精密鑄造業界에서는 需要의 增大, 品質의 向上, 用途의 擴大에 應하기 爲해서 새로운 製造技術을 開發, 實用化하고 있다.

이들 中에서 金型으로 超塑性金屬의 利用, 로봇에 依한 精密鑄造鑄型製作의 自動化, 迅速한 鑄型製作法인 패피드·셀·프로세스, 鑄物回收率을 向上시킬 수 있는 CLA 프로세스·젯트엔진의 高壓 터빈翼의 品質을 높여 주는 一方向凝固法, 用途가 擴大되어 온 티타늄합금精密鑄造法, 高品質 멜팅 스톱크, 改良된 脫砂法 등 最近 話題가 되어진 精密鑄造法에 對해서 解說하였다.

參 考 文 獻

1. 錦織德郎; 東邦ユークス販賣K.K., 鑄物 노트, No 15 (1972)
2. Z.G.Laux; Society of Manufacturing Engineers, MS 78-678 (1978)
3. G.D.Chandley; 25th I.C.I. Annual Meeting, No.13 (1977)
4. National Gas Turbine Establishment (1974)
5. K.Krone 등; 4th World Conference on Investment Casting, No.6 (1976)
6. O.R.Schuyler 등; Vacuum Metallurgy Conference (1977)
7. R.Grunstra 등; Vacuum Metallurgy Conference (1977)
8. K.Harris 등; 18th E.I.C.F., Conference on Investment Casting, No. 14 (1978)
9. J.Valenta; 26th I.C.I. Annual Meeting, No. 8 (1978)