

여 좋은 품질의 주조품을싼 제조비로 만들 뿐 아니라 생산성이 높아 전체의 제조원가를 낮출 수 있는 특수한 주조의 한 방법이다[1].

종류와 특성

(1)진원심주조(true centrifugal casting)

진원심주조란 코아 없이 용탕을 원통상의 용기에 넣어서 수직 또는 수평축의 주위로 회전 시켜 액체가 용

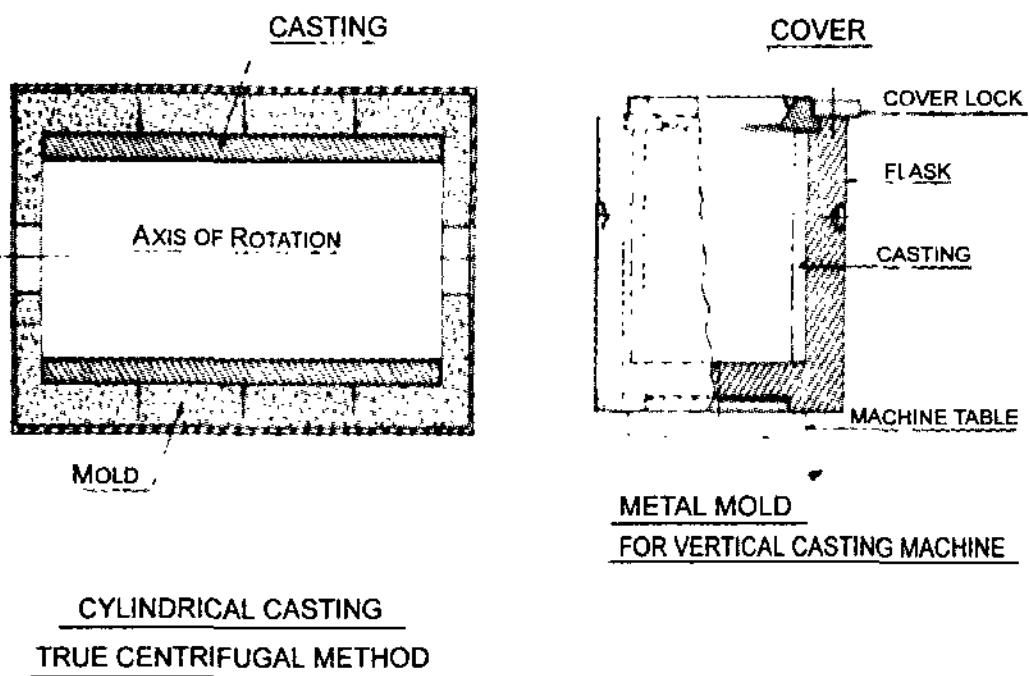
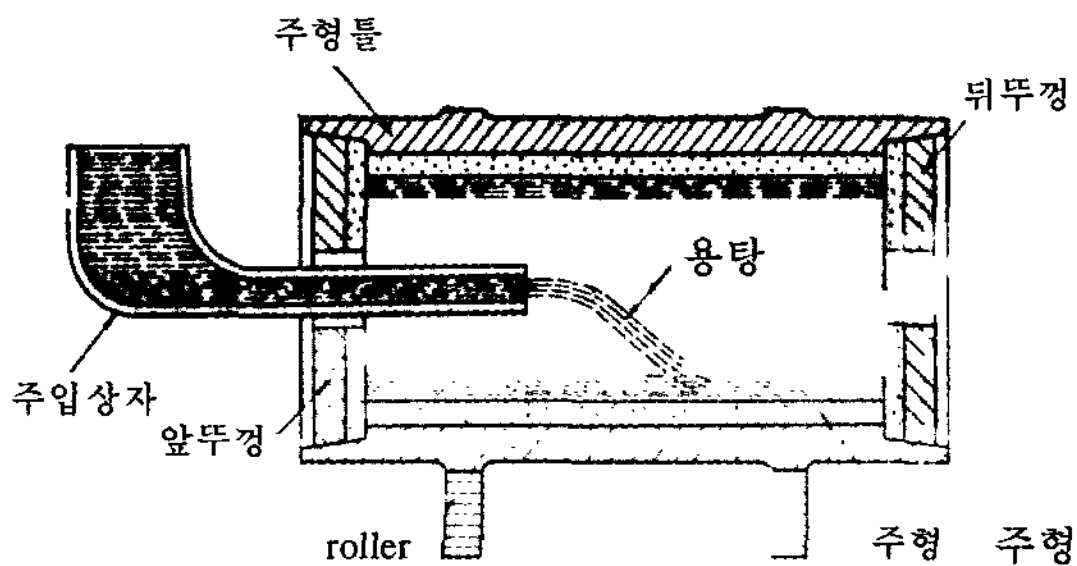


그림 1. 진원심주조(True centrifugal casting).

기 내벽으로 밀려 중공이 되게 하는 주조방법이다[2].

(2) 반원심주조(semi-centrifugal casting)

반원심주조란 치차등을 만들때 대칭축을 회전축으로 하여 주형을 회전시키면서 용탕을 주입하는 방법을 말한다. 정적인 주조에서는 압력의 미달로 얇은 주물의 주조가 불가능하지만 이방법에서는 원심력을 이용하기 때문에 주조가 가능하다[1]. 이방법을 진원심주조와 비

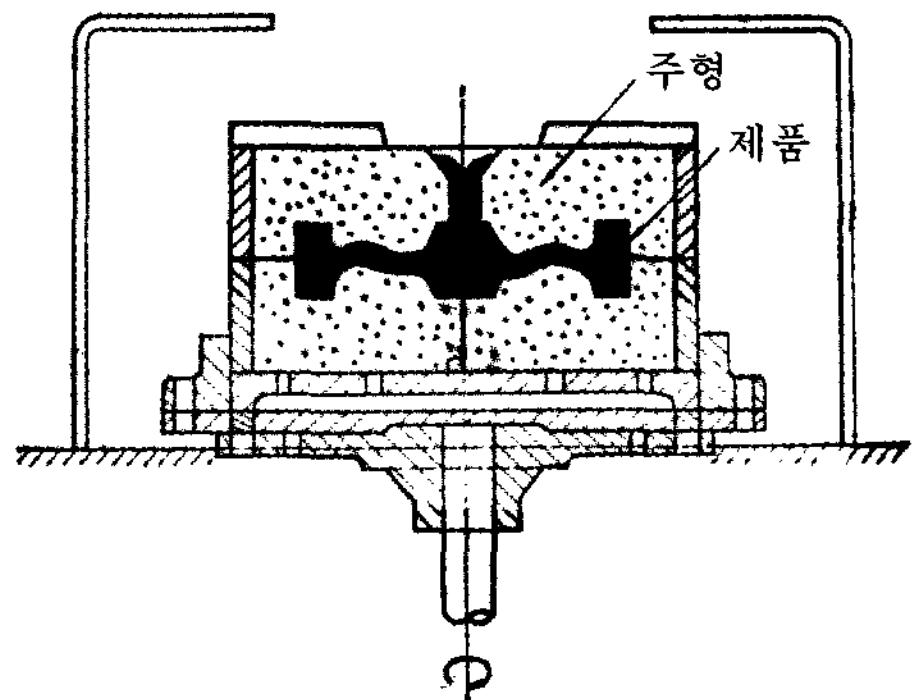
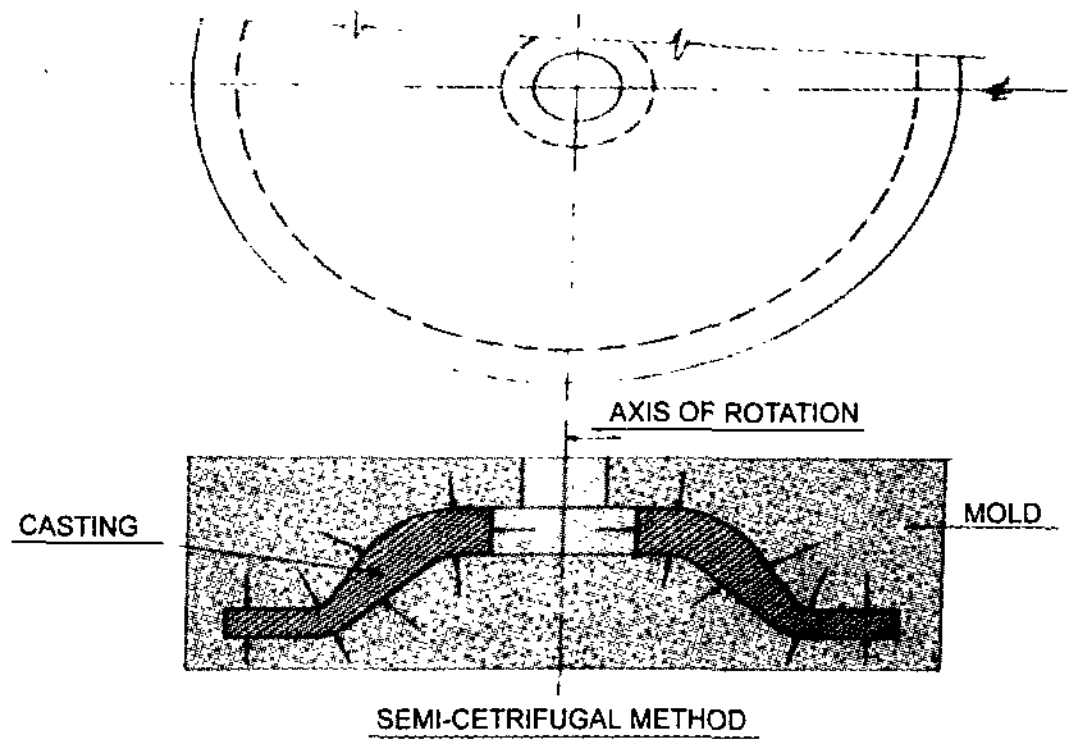


그림 2. 반원심주조(Semi centrifugal casting).

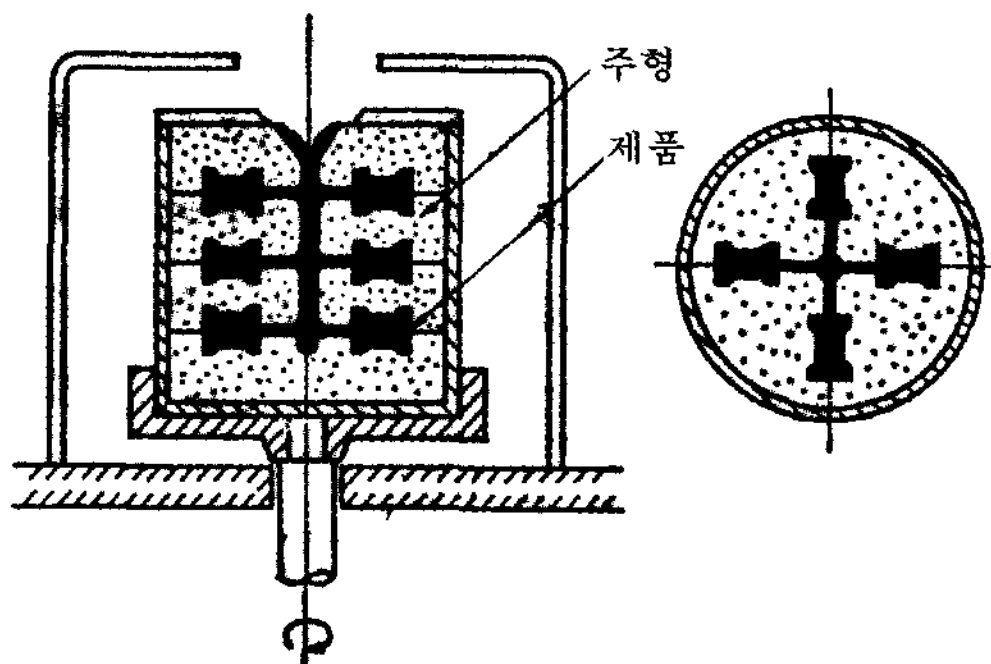
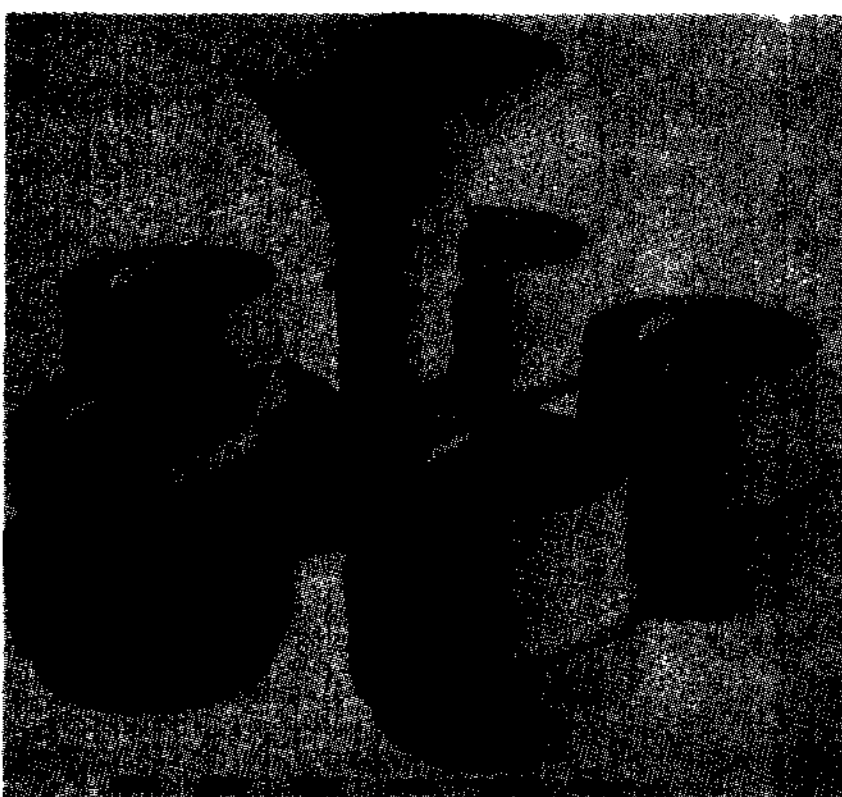


그림 3. 원심가압주조로 제조된 제품 및 주조법(오른쪽).

교할 때 코아와 높은 탕구가 요구된다. 그리고 비금속 개재물의 제거가 진원심주조보다 못하다[2].

(3) 원심가압주조 (centrifuged casting)

반원심주조와 비슷한 방법이지만 주물의 축을 회전축으로 하지 않는 점이 반원심주조와 다르다. 탕구를 회전축으로 하기 때문에 탕구의 주위에 배치시킨 주물은 동일형상이거나 아주 비슷한 형상이어야 하며 회전시 균형이 잡히지 않아서 발생하는 진동을 피하도록 해야 한다.[2].

3. 원심주조의 이론[2]

3.1 주형의 회전속도

그림 5와 같이 주입된 용탕은 각점의 속도가 v 이고 반경이 r 인 원운동을 할수있다고 볼수 있다.

이때

$$\alpha = v\omega \tag{1}$$

$$r\omega = v \tag{2}$$

$$\alpha = \frac{v^2}{r} = r\omega^2 \tag{3}$$

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}, N = \frac{60}{2\pi} \omega \tag{4}$$

$$F = m \frac{v^2}{r} = mr\omega^2 = m \cdot \frac{4\pi^2 N^2 r}{60^2} = m \cdot \frac{2\pi^2 N^2 D}{60^2} \tag{5}$$

이 성립된다.

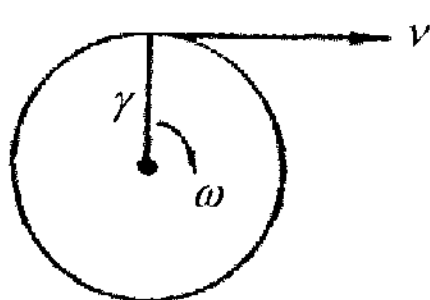
여기서

α : 원심력의 가속도 (cm/sec²)

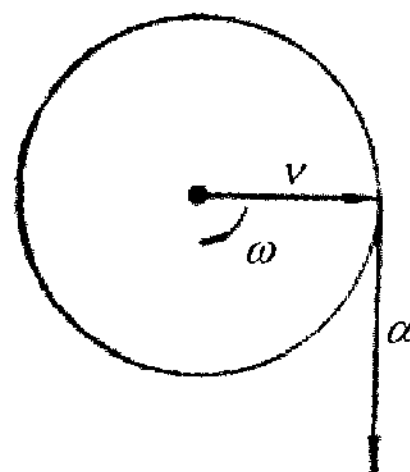
v : 주속도 (cm/sec)

ω : 각속도 (Radian/s)

g : 중력가속도 (cm/s²)



(a) 등속원운동



(b) 원심력의 가속도

그림 4. 원심주조의 회전운동.

N : 회전속도 (rpm)

F : 원심력 (kg·cm/s²)

m : 질량 (kg)

W : 중력 (kg·cm/s²)

r : 회전반경 (cm)

D : 회전직경 (cm)

(1) 수평식 원심주조의 경우

수평식 원심주조로서 관상의 주물을 만들 때는 원심력을 중력보다 크게 하여야 하므로

$$mr\omega^2 \geq mg \tag{6}$$

이어야 한다.

Wiesner는 실험적으로 실제로 필요한 회전속도 N (rpm)와 직경 D (cm)에 관하여 다음의 관계식을 구했다[3].

$$N = \frac{2369}{\sqrt{D}} \tag{7}$$

원심력과 중력의 비인 중력배수 G 를 도입하면 즉

$$G = \frac{F}{W} = \frac{2\pi^2 N^2 D m / 60^2}{mg} = \frac{DN^2}{1789 \times 10^2} \tag{8}$$

이 된다.

보통 사형의 경우 60-75G, 금형의 경우 40-50G로 결정하여 식 3.8식에 대입하여 회전속도를 구하고 있으며 목적에 따라서는 130G 범위까지 높게 할 수 있다.

(2) 수직식 원심주조의 경우

수직식 원심주조에서 용탕을 주입후 회전하면 그림 7과 같이 된다. 이때

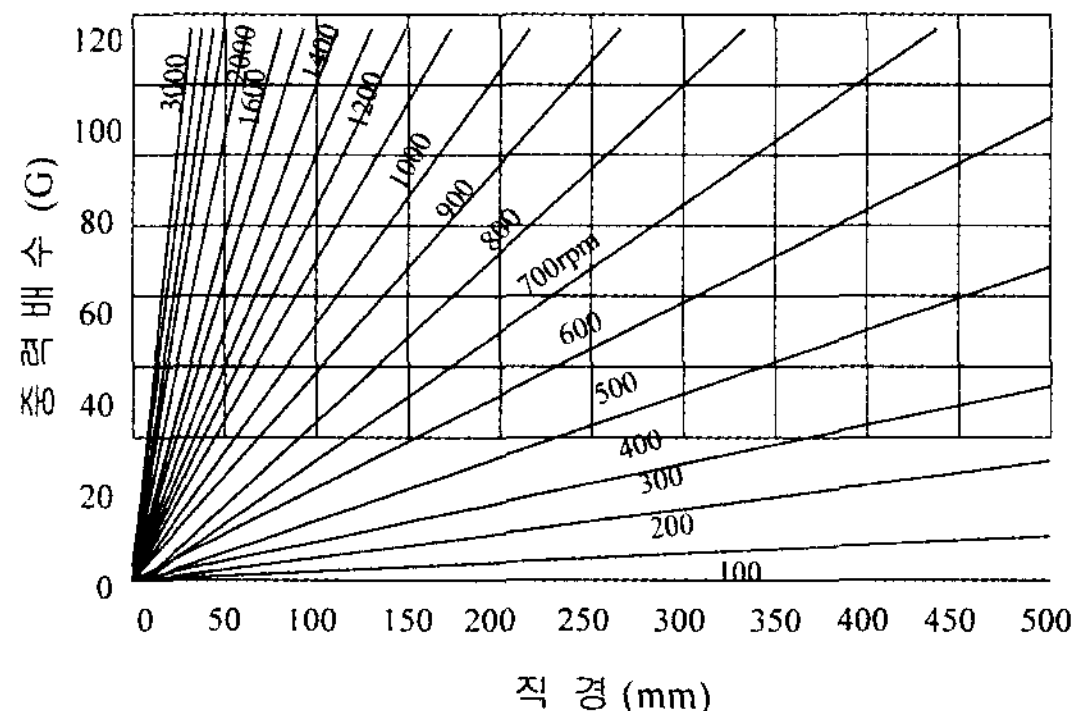


그림 5. 회전속도와 직경과의 관계.

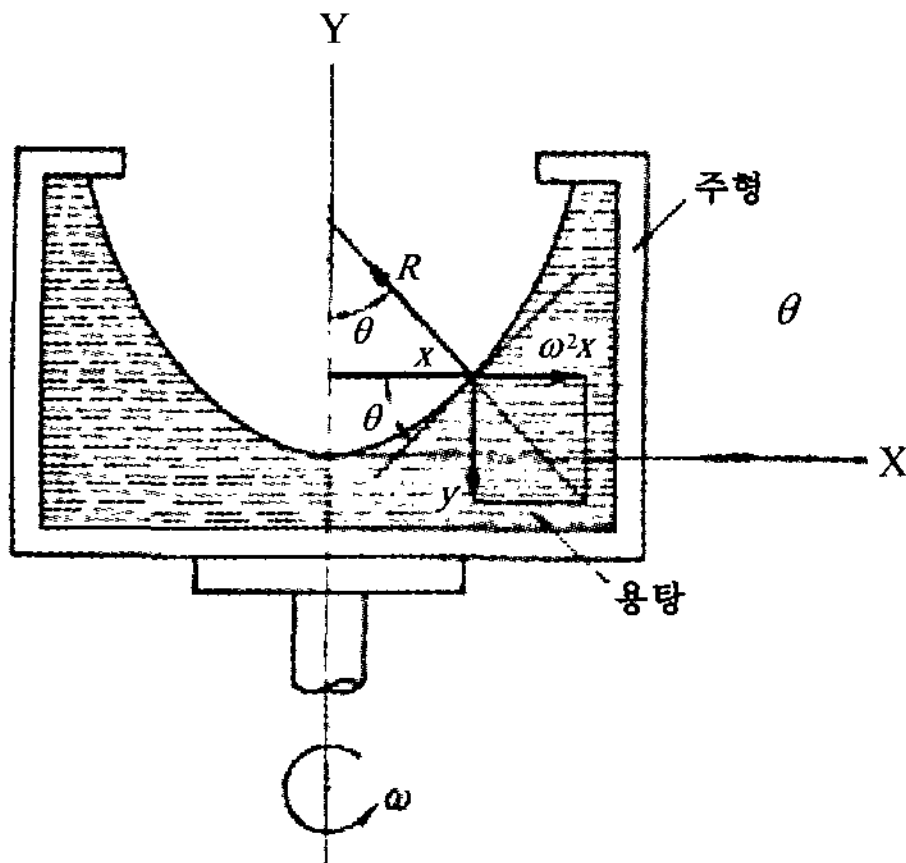


그림 6. 용탕자유표면계산(수직식원심주조).

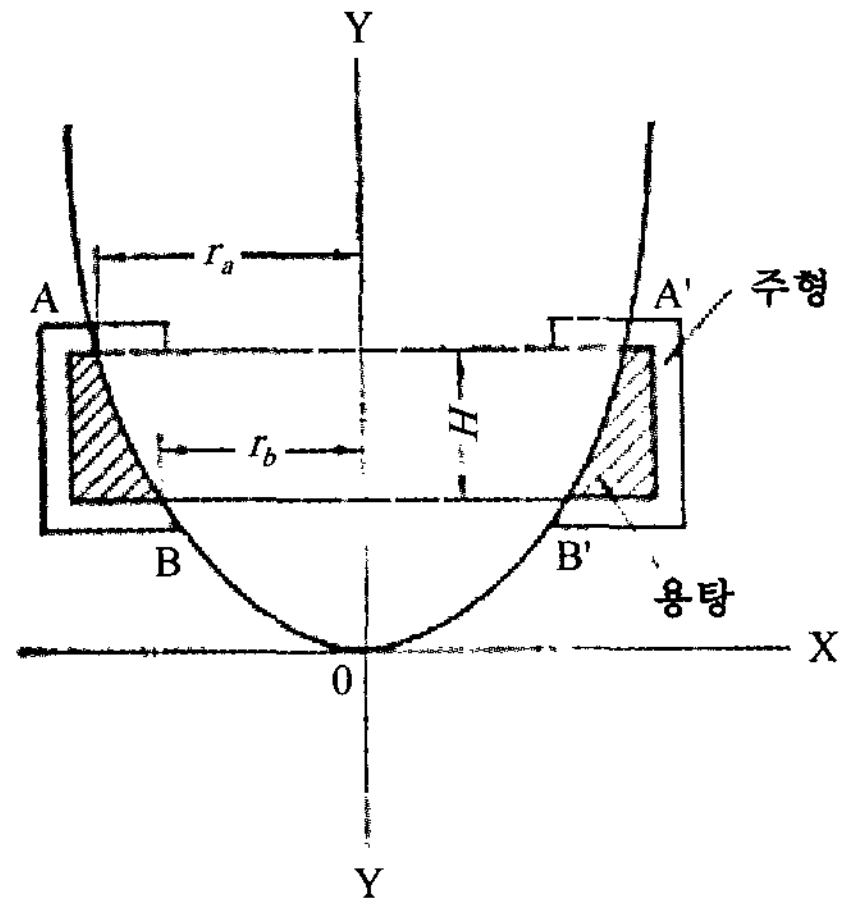


그림 7. 용탕의 실제상태(수직식원심주조).

$$F = mx\omega^2 = R \cdot \sin\theta \quad (9)$$

$$W = mg = R \cdot \cos\theta \quad (10)$$

이 성립된다.
따라서

$$\tan\theta = \frac{x\omega^2}{g} = \frac{dy}{dx} \quad (11)$$

식 11을 적분하고 y의 함수로 표시하면

$$y = \frac{\omega^2}{2g}x^2 = \frac{2x^2N^2}{60^2g}x^2 \quad (12)$$

이 된다.

여기서

x : 회전반경

ω : 각속도 (radian/s)

y : 정점부터의 높이(cm)

N : 회전속도 (rpm)

R : 원심력과 중력의 합력 (g · cm/s²)

θ : 수직축과 R의 방향에서의 각도 (radian)

실제로 수직식원심주조에서는 그림 8과 같이 포물선의 일부를 이용하고 있다. 이때 식 12로부터

$$y_a = \frac{2\pi^2N^2}{60^2g}r_a^2 \quad (13)$$

$$y_b = \frac{2\pi^2N^2}{60^2g}r_b^2 \quad (14)$$

이 되며

$$H = y_a - y_b = \frac{2\pi^2N^2}{60^2g}(r_a^2 - r_b^2) \quad (15)$$

$$N = \sqrt{\frac{60^2g}{2\pi^2}} \cdot \sqrt{\frac{H}{r_a^2 - r_b^2}} \approx 423 \sqrt{\frac{H}{r_a^2 - r_b^2}} \quad (16)$$

이 된다. 여기서

H : 제품의 높이 (cm)

r_a : 상단의 내경 (cm)

r_b : 하단의 내경 (cm)

y_a : 포물선의 정점부터 상단까지의 높이 (cm)

y_b : 포물선의 정점부터 하단까지의 높이 (cm)

식 16으로부터 회전속도가 클 때 주물의 상단과 하단의 내경 차가 적게 됨을 알수 있다.

회전축을 그림 9와 같이 경사 각도 α만큼 경사 시킬 때에는

$$N = 423 \sqrt{\frac{1}{r_a - r_b} \times H \sin\alpha} \quad (17)$$

실제로는 75G 정도의 회전속도로 한다.

이 회전속도와 주 속도의 관계는 다음과 같다.

$$N = \frac{V}{2\pi R} \quad (18)$$

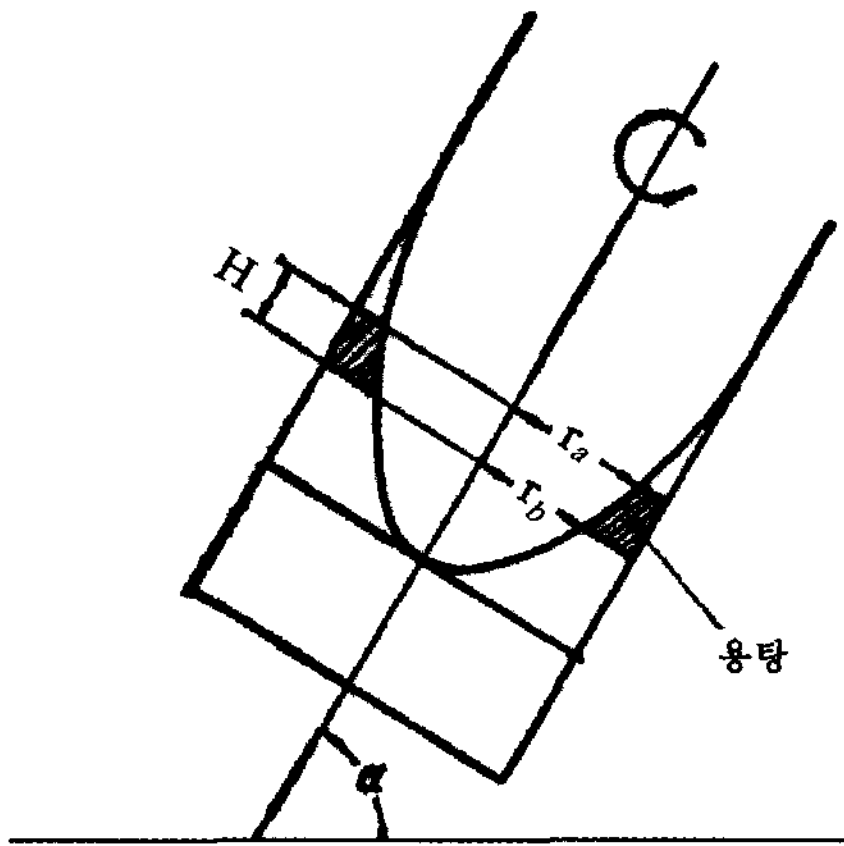


그림 8. 경사식 원심주조에 있어서 용탕의 실제상태.

여기서

V : 제품 외주의 주속도 (m/min)

R : 주물의 반경 (m)

3.2 주형이 받는 응력

주형에 용탕을 주입하면 용탕에 작용하는 원심력 때문에 응력이 주형벽 내에 생기며 이것이 주형의 강도를 초과하면 주형이 파괴된다. 외주에 생긴 응고층이 주형벽과 공극이 생기는데 이것도 원심력에 의하여 응력을 받는다. 주형의 파괴 또는 주물의 crack은 이 응력이 응고층의 강도를 초과할 때 생긴다. 그림 10, 11로부터 용탕 각점의 응력의 일반식은

$$P = \int_{r_c}^r \left(\frac{\rho}{g} dr \right) \omega^2 r = \int_{r_c}^r \frac{\rho}{g} \omega^2 r dr = \frac{\rho}{g} \omega^2 \frac{r^2 - r_c^2}{2} \quad (19)$$

여기서

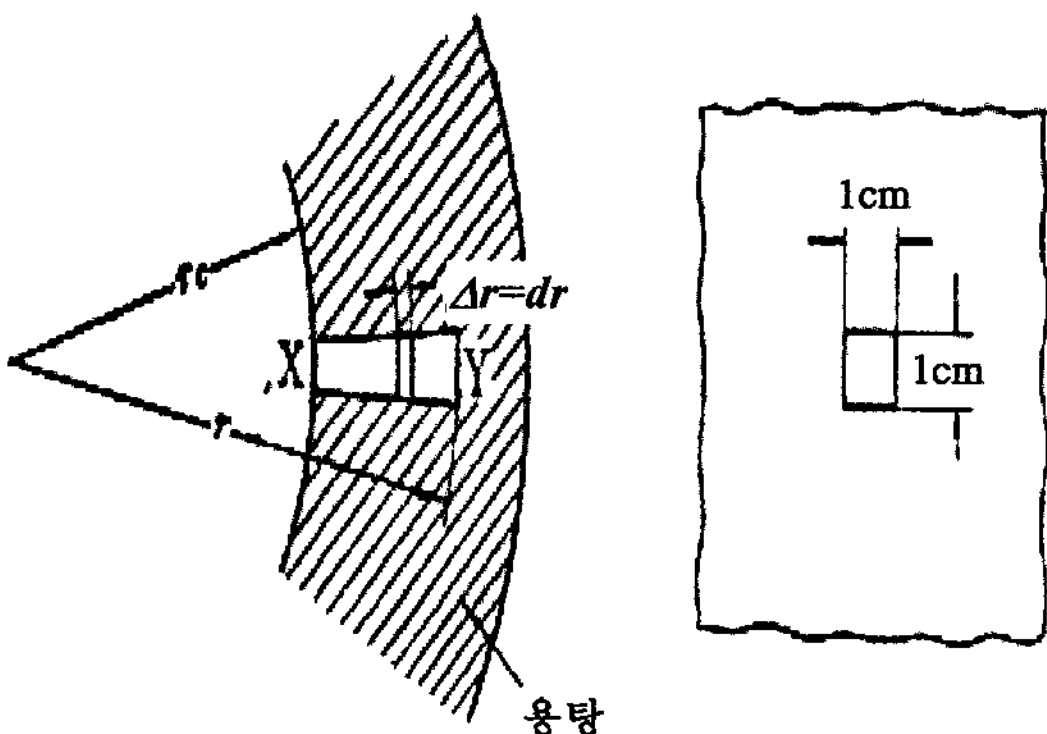


그림 9. 원심력, 원심압의 계산.

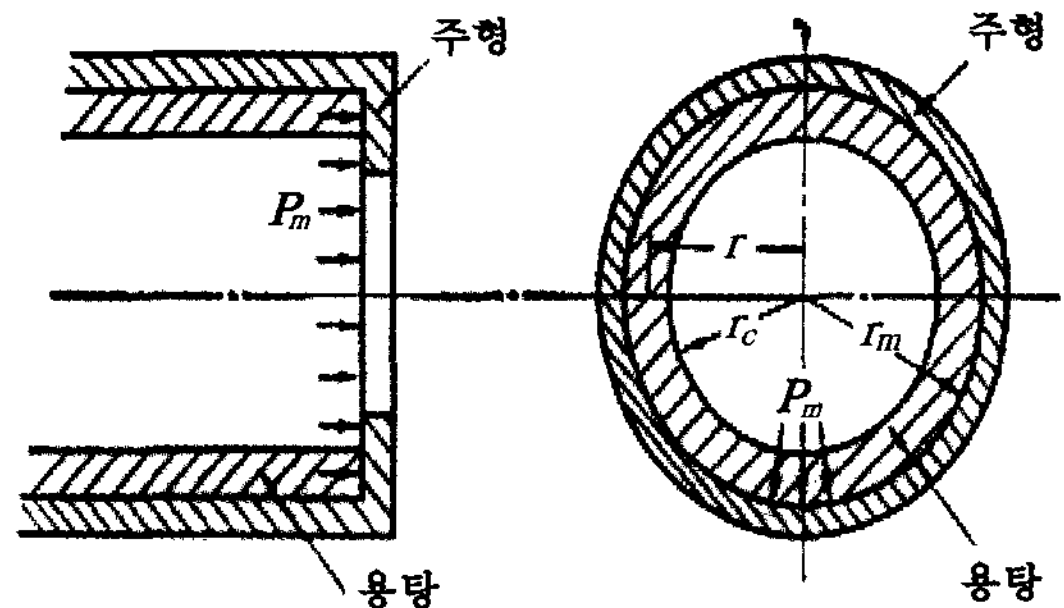


그림 10. 주형이 받는 압력계산.

P : 원심압 (단위면적당 원심력 F/cm²)

r : 각점의 회전반경 (cm)

r_c : 용탕의 내면의 회전반경 (cm)

따라서 주형(또는 응고층)이 받는 압력 P_m은 다음과 같이 된다.

$$P_m = \frac{\rho}{g} \omega^2 \frac{(r_m^2 - r_c^2)}{2} = \frac{\rho}{g} \cdot \left(\frac{2\pi N}{60} \right)^2 \cdot \frac{(r_m^2 - r_c^2)}{2} \approx \frac{(r_m^2 - r_c^2) \cdot N^2 \rho}{178731} \quad (20)$$

r_m : 주형내면(또는 응고층내면)의 반경(cm)

그래서 단위길이당의 주형(응고층)을 갈라놓으려는 인장하중 f_m은

$$f_m = P_m r_m \approx \frac{(r_m^2 - r_c^2) \cdot N^2 \rho}{178731} \quad (21)$$

이 되고

주형단면을 미는 힘 f_e은

$$f_e = \frac{1}{2} P_m \cdot \pi(r_m^2 - r_c^2) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\rho}{g} \cdot \left(\frac{2\pi N}{60} \right)^2 \cdot \frac{(r_m^2 - r_c^2)}{2} \cdot \pi(r_m^2 - r_c^2) \approx \frac{(r_m^2 - r_c^2)^2 \cdot N^2 \rho}{113784} \quad (22)$$

이 된다.

3.3 원심력에 의한 편석

개재물이 용탕 속을 이동하는 속도 u와 이 비금속개재물이 용탕으로부터 받는 저항력 R 사이는

$$R = 6\pi\eta rv \tag{23}$$

가 된다.

여기서

R : 비금속개재물이 받는 응력

η : 용탕의 점성계수

v : 비금속개재물의 이동속도

r : 비금속개재물의 반경

비금속 개재물이 원심력에 의하여 용탕중을 이동할 때는 원심력과 저항력이 합쳐지고 어느 일정한 이동속도에 달한다.

$$\frac{4}{3}\pi r^2(\sigma - \rho)\alpha = 6\pi\eta rv_0 \tag{24}$$

$$v_0 = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2(\sigma - \rho)}{\eta} \alpha \tag{25}$$

여기서

v_0 : 비금속개재물의 이동속도

σ : 용탕의 밀도

ρ : 비금속개재물의 밀도

α : 원심력의 가속도

편석의 원인중 하나는 초정인데 이는 용탕과의 비중 차이 때문이며 주물에서의 성분상의 편석을 일으킨다.

4. 원심주조기

원심주조기는 주형의 소요 회전속도, 회전하는 주형에 용탕의 주입방법, 주입한 용탕의 응고형태, 응고완료된 주물의 제거 등의 요건을 결정한 후 사용할 특성에 맞게 제작하여 사용한다. 흔히 수직식, 수평식, 및 face-plate등 주조기가 있다[1].

4.1 주형회전장치

(1) 직접구동식 원심주조기

이 주조기에서는 회전축을 직접 회전한다. 수평식 원심주조기의 예로는 포신용의 독일식 원심주조기, 주형의 일단에 부착한 회전축을 베어링으로 고정하고 이 회전축에 전동기를 직접 연결한다든가, 풀리를 끼워 belt를 걸어서 회전을 전달하게 하는 편지식 원심주조기등이 있다.

(2) 간접구동식 원심주조기

이 주조기에서는 우선 roller를 회전시키고 마찰력을 이용하여 roller로부터 주형에 회전을 전달하는 형식의 것으로서 일반적으로 베어링으로서 지지된 두 개의 평행축에 각각 두 개의 roller를 끼우고 그 네 개의 roller 위에 두 개의 주형타이어가 접하도록 주형을 엮고 한쪽의 축을 회전 구동하여 주형을 회전시킨다[2].

4.2 용탕주입장치

(1) 고정식 주입법

주입통을 고정하고 용탕을 회전하는 주형에 부어넣는 방식인데 조작이 간단하여 많이 사용된다. 수평식 원심주조에서는 직경이 작을 경우에는 비입주입법을 사용한다. 특수한 것으로서는 반전경주식 방법이 있다 [4,5].

(2) 이동식 주입법

주입구의 위치를 이동하면서 주입하는 방법으로 수평식 원심주조기는 얇은 두께의 판재를 만들 때 사용한다. De Lavaud process의 주입법이 대표적인 것으로 주입 중에 주형이 일정속도로 후퇴하는 구조로 되어 있다[3,6].

4.3 주형 냉각장치

원심주조에서 편석을 없애고 cycle time을 단축하기 위해 주형을 외부로부터 냉각한다. 주형의 냉각은 보통 air cooling, water spray cooling, water bath cooling 3가지 방법이 있다[3,7].

4.4 제품발취장치 및 부속설비

원심주조기에서 주형으로부터 주물을 발취하는 데는 자기앞쪽으로 꺼내는 방법, 반대쪽으로부터 압출하는 방법, 또 반대쪽으로부터 다소 압출하여서 자기앞쪽으로 완전히 꺼내는 방법등 세 가지 방법이 있는데 원심주조기에는 꺼내는 장치와 압출하는 장치를 부착시킨다[4,7,8].

원심주조기의 부속설비로서는 용탕계량장치, 용탕비산방지보호장치, 도형장치 등이 설치되어 있다. 그외에 사형원심주조로서는 특수한 조형장치, 주형건조장치, 탈사장치, 주형운반장치 등을 설치되어 있다.

5. 원심주조의 주형

5.1 영구주형(permanent molds)

(1) 금형

금형의 이점은 용탕의 응고속도가 빠르고 결정립이 미세화되며 편석이 적고 비금속개재물의 분포가 균일하며 생산성이 좋고 주물의 치수 정도가 좋은 것이며 결점은 주물의 치수에 제약 받고 제작비가 많이 들며 열간균열이 생기기 쉽고 탕경을 만들기 쉬우며 박리가 어렵다는 점이다.

보통 금형에 사용하는 재질은 강괴주형에 가까운 내열주철 또는 몰리브덴을 첨가한 내열강이다. 주철의 금형은 큰 금형을 만들 때 또는 주물의 제작개수가 적을 때 경제적으로 유리하게 된다. 주철은 공냉식 금형으로 사용하고 있다. 특수한 것으로는 독일의 청동용 원심주조기의 주철 금형이 있다. 이 금형은 주입 할 때 얇은 동판을 금형의 내면에 부착시키는데 이 동판은 pinhole을 막고 마무리를 적게 하며, 금형의 수명을 길게 하는 효과가 있다[3].

금형은 사용전의 충분히 balance가 맞지 않으면 주형이 진동하기 시작하여 끝까지 원하는 회전수가 될 수 없기 때문에 금형은 일반적으로 전면가공한다.

금형의 형식은 일반적으로 일체식이 사용되고 있으며 제품의 발취를 용이하게 하기 위해 금형의 내면에 발취구배를 준다.

또한 주입할 때마다 금형에 대한 열응력이 반복되는데 Koniger는 금형에서 주철관을 제작할 때의 그 응력에 따라서 최초내측에 발생하는 압축응력은 5초 이내에 25 kg/mm^2 에 이르고 약 2분 후의 그 압축응력이 80 kg/mm^2 의 인장응력으로 변한다고 한다[3].

균열, 또는 응력에 의한 균열의 발달을 방지하기 위해 금형의 내면에 shot peening, indenting, grooving 및 etching 등 기계적으로 표면처리를 한다.

금형 도형은 금형표면을 보호하고 수명을 길게 하려는데에 있다.

도형에는 도형재료의 분말을 현탁용액으로 하여 사용한 용액 도형과 도형재료의 분말을 그대로 건조상태에서 쓰는 분말도형이 있다. 도형의 내화재료로는 보통 규사, 지르콘사 및 흑연의 분말이 사용되고 그밖에 알루미늄, 목탕, 활석, 운모, 탄산칼슘, 규조토 등의 분말도 사용되고 있다.

(2) 흑연주형

흑연주형의 이점은 기계가공이 용이해서 제작시간이 빠르고 주형비가 저렴하며 열충격에 강하고 주형온도가 주물의 치수에 영향을 주지 않으며 주형이 가볍고

취급이 용이하며 열전도도가 크므로 조직이 양호한 주물을 얻을 수 있고 생산성도 향상되며 주물이 주형에 용착하지 않고 표면도 미려하게 된다는 점이다. 결점은 마모하기 쉽고 파손하기 쉬우며 주물이 chill이 되기 쉽다는 점이다.

흑연주형의 재료로서는 시판의 인조흑연전극이 쓰이고 있다. 인조흑연전극으로된 주형에서의 주물의 냉각이 빨라서 주입 후 즉시 주물을 주형에서 빼어낼 수 있으며 주형은 열충격에도 강하고 주형온도가 주물의 치수에 미치는 영향이 적으며 강도가 취약해 주형의 취급에 특히 주의해야 한다. 기공률은 15-30%로 주입할 때 주물표면이 미려하다.

흑연주형의 기계가공은 선반을 사용하여 저탄소강의 bite를 쓰고 고속으로 깎아낸다. 주형틀은 일정한 팽창치수를 고려하여 가공여유를 가산할 주물치수가 되도록 가공한다.

도형제로서는 건조한 bentonite 분이 쓰이는데 분말은 spray gun으로 회전 중의 주형에 불어넣어 원심력에 의하여 주형면에 부착시켜 놓고 주입을 한다. 또 도형은 두꺼우면 용탕에 씻기기 때문에 얇게 하지 않으면 안된다.

흑연주형의 소모량은 다음식으로 계산된다[2].

$$\begin{aligned} \text{주형의 중량 (lb)} \times \frac{[SH(t_1 - t_2) + HF_m]}{25(800^\circ F - t_3)} \\ = \text{주형의 소모량 (lb)} \end{aligned} \quad (26)$$

여기서

SH : 금속의 비열 (BTU/lb/°F)

HF_m : 금속의 용해열 (BTU/lb)

t_1 : 금속의 주입온도 (°F)

t_2 : 금속의 취출온도 (°F)

t_3 : 주형의 예열온도 (°F)

5.2 소모주형(expendable molds)

(1) 사형

사형의 이점으로는 주형비가 저렴하고 탕경이 생기기 어려우며 비금속개재물이 내면에 모이기 쉬워 내면의 기계가공에 의하여 깨끗한 재질의 제품을 얻을 수 있으며 치수와 형상의 융통성이 있으며 표면결함이 적다는 것이다.

한편, 결점으로는 소착, fin이 발생하기 쉽고 사형의 침식, scab 등에 의하여 주물에 모래가 붙기 쉬우며

관상주물을 만들 때는 주형틀과 주형이 편심되기 쉬우며 냉각속도가 느리므로 능률이 좋지 않다.

사형주형틀은 주입할 때 두께를 두껍게 하지 않고 내부결함이 없이 해야 한다. 주형틀의 재질은 일반적으로 주철을 쓰고 있지만 강철이 튼튼한 점으로는 좋다.

사형을 조형함에는 먼저 주형틀을 조형대 위에 수직으로 고정시켜 그 틀 중앙에다 모형을 놓은 후 주형틀 상단에서 모형 주위에 모래를 적당히 보급하면서 sand rammer를 써서 주형틀의 하단에서 상단을 향하여 밀어올려 주형틀의 상단까지 밀어넣으면 hoist로 중앙모형을 집어빼고 도형을 하여 건조시키고 양단에 뚜껑을 붙여서 조형을 끝낸다.

원심주조에서는 큰 원심력의 작용에 의해서 사형에로의 침투 및 소착을 방지하고자 튼튼한 도형을 한다. 이 경우의 도형재로는 동합금 및 경합금에는 흑연, 활석분, 운모분에 10%내외의 점토를 배합한것에 물을 첨가해서 적당한 점도로 만든 현탁수용액을 쓴다[2].

(2) ceramic molds

주형을 회전시키면서 내화재료의 slurry를 흘려보내고 원심력에 의하여 slurry중의 수분을 내측으로 분리하고 내화재료를 주형틀의 내면에 균일하게 lining 한 다음 내화재료가 slurry 중에 균일하게 분산하도록 현탁제를 첨가하며, 주형의 lining 두께는 유입하는 slurry의 계량에 의하여 조정하며 또 가스를 충분히 나가도록 주형틀에 구멍을 뚫는다[2].

5.3 특수주형

동판을 내장한 주형(copper sheet lined molds)

청동의 주물을 만들 때는 주물의 표면에 pinhole이 생기기 쉬우나 동판을 내장한 주형을 쓰면 이 pinhole을 방지할 수 있다. 청동이외에 적동, 니켈청동, monel metal 등에도 같은 목적으로 응용된다. 이 동판을 제거하기 위하여 외경에는 표면으로서 3 mm의 가공여유를 준다[9,10].

6. 원심주조의 주입

6.1 진원심주조의 주입

(1) 수평식 원심주조의 경우

우선 주형전면에 용탕이 균등한 속도로 분포되게 하고 용탕은 주형면에서 내면을 향해서 방향성응고르게 하며 용탕 중의 개재물이 내면에 모이게 해야 한

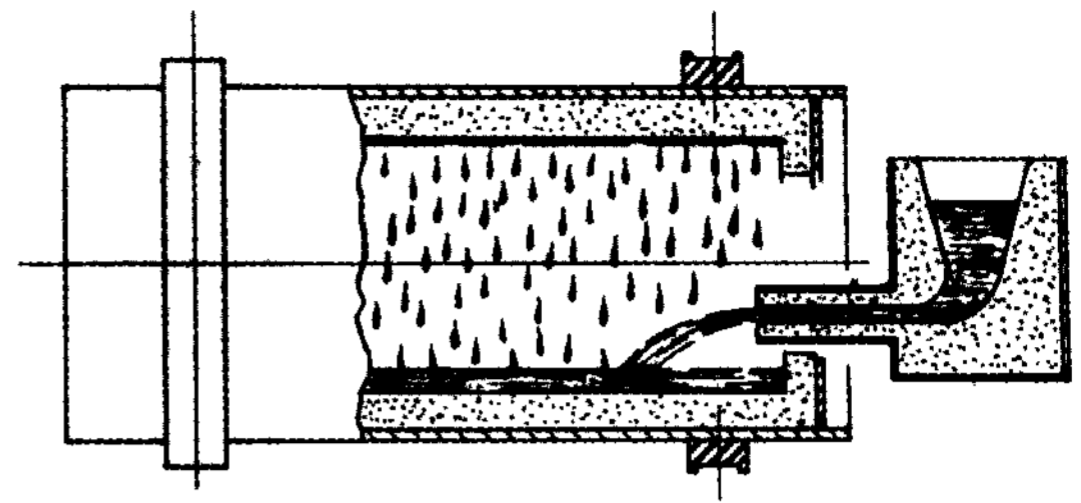


그림 11. 원심주조의 주입.

다. 다음 주입조건을 고려해보면 아래와 같은 몇가지가 있다.

① 적하현상과 주입조건

Raining(적하)은 그림 12와 같이 용탕이 충분히 가속되지 않아서 원심력이 부족한 결과 중력에 의해서 회전도중에 용탕이 내면의 정점에서 작은 물방울로 되어 낙하하는 현상을 말한다.

이 적하를 방지하기 위해서는 회전속도를 빨리하고 주입속도를 느리게 한다. 또 주입온도를 낮추고 점성을 높이는 것도 적하의 방지에 효과가 있다[1].

② 주물의 두께와 주입조건

두께가 아주 얇은 주물의 경우 주입속도를 될 수 있는 한 빨리하고 동시에 주입온도도 지장이 없는 한 높이고 회전속도도 보통보다 빠르게 한다. 어느정도의 두께를 갖는 주물이라면 주입온도 및 회전속도는 일반적으로 낮아지지만 주입속도는 역시 빨리해서 탕경을 방지해야 한다.

③ 주형과 주입조건

원심주조에서 일반적으로 보통주조법의 사형의 주입온도와 같이 하든지 다소 높게 한다. 그러나 주입온도를 높게 하면 고온균열, microcavity의 발생요인이 되는 것으로서 설비상의 제약이나 주물의 길이와 두께가 허락하는 한 아주 낮은 온도에서 주입되지 않으면 안된다. 금형에서는 주형도 예열하는 것이 필요하므로 80-100°C로 가열하고 주입한다.

(2) 수직형 원심주조의 경우

수직형 또는 경사형은 용탕을 깔때기 모양의 홈통을 통해서 한번에 붓는 것으로서 주입속도는 매우 빠르다. 따라서 작은 주물에서 용탕의 양이 작고, 큰 주입속도를 요하는 경우, 편석이 쉬운 연청동과 같은 합금에서 회전속도를 내리지 않으면 안되는 경우에 적합하다. 그러나 주물의 길이가 아주 긴 경우에는 적당치 않고 내경의 4배 이하의 길이에서 사용된다.

6.2 반원심주조의 주입

중앙의 탕구가 주물에 대해서 용탕을 보급하는 압탕의 역할을 하기 때문에 탕구를 충분히 크게 해야 한다는 점이 중요하다.

6.3 원심가압주조의 주입

용탕의 유속이 빨라지면 주형의 침식이 커지게 되고 또 난류가 되면 공기를 흡입하게 되어 산화가 쉽게 되므로 천천히 주입되도록 놓고 탕구의 치수 및 형상을 결정해야 한다.

7. 원심주조에서의 응고

주물단면의 결정조직은 기본적으로 주형면에 접한 미세등축 chill층, 그 chill층에서 주형면에 직각으로 발달한 주상정, 그리고 그 등축정의 내측에 발달된 조대등축정 3가지의 결정으로 형성된다.

그런데 용탕의 성분, 주형의 열확산속도, 용탕의 열적 성질, 용탕중 핵의 존재 등이 서로 연관되어 결정조직에 영향을 미치는데 실제의 조직은 전면이 미세등축 chill정인 것, 미세등축 chill정의 내측에 주상정이 발달하는 것, 미세등축 chill정에서 주상정이 발달하고 그 내측에 등축수지상이 생성되는 것, 전면이 등축수지상정이 되는 것같은 조직이다[2].

8. 원심주조의 결함과 방지책

(1) 길이 방향의 열간균열(longitudinal hot tears or cracks)

주형벽에서 먼저 응고된 응고층이 원심력에 의해 회전하는 용탕의 압력을 받아 인장응력을 받는데 그 인장응력이 응고층의 인장강도를 넘을 때 길이 방향에 균열이 발생한다.

따라서 기계적으로는 회전속도가 빠를 때, 주물의 직경이 클 때, 또 열적으로는 주입온도가 높을 때, 주입속도가 빠를 때에 길이방향의 균열이 발생한다.

(2) 원주방향의 열간균열(traverse hot tears or cracks)

용탕이 응고수축할 때 주형의 저항에 의해 길이 쪽으로의 수축이 저하되면 원주 방향에 균열이 발생한다. 이 균열을 방지하는 데는 고온강도가 작은 모래를 쓰고, 수축에 대한 저항을 적게 하거나 주입온도를 낮추어 수축량을 적게 하는 방법을 쓴다.

(3) 탕경

주입온도, 주입속도, 회전속도의 저하시 또는 주입의 도중 용탕의 동요시 주형의 표면에 용탕이 불균등하게 분포되기 때문에 탕경이 발생된다. 그리고 용탕의 유동성이 나쁠 때는 더생기기 쉽다. 그 결함을 방지하는 데는 될 수 있는 한 주입온도를 높이고 주입속도와 회전속도를 매우 빠르게 하는 것이다.

(4) 용탕의 침투 (metal penetration)

원심주조에는 큰 원심력의 작용으로 용탕이 주형에 침투하는 현상이 일어나는데 일반적으로 모래의 배합을 세립화하고 주형경도를 높여 도형을 충분히 함으로써 이것을 방지한다.

(5) 기공(blow holes)

주물 외측의 표면에서의 가스 결함인데 이는 주형 혹은 도형에서 발생한 수분 또는 휘발분이 원인이다. 따라서 주형과 도형의 건조 및 도형의 성질에 맞는 도형온도를 유지하고 적당한 두께로 도형함으로써 그 결함을 방지한다.

(6) shrink holes

주입된 용탕의 양이 많을 경우 응고가 불균일 함에 따라 주물에 많은 수축공이 생길수 있는데 이 수축공을 방지하는 데는 주형의 냉각효과를 크게 하거나, 주입속도를 늦추거나, 주입온도를 낮추거나, 또는 회전속도를 높이는 등 방법이 쓰인다.

(7) cold shuts(laps)

이는 부적당한 주입 기술에 의해 생기는 것으로서 난류 주입, 중단되거나 특히 낮은 주입온도에 의해 생긴다. 따라서 적당한 주입 속도로서 tearing이 일어나 전 전에 주입하는 것을 시도해야 한다[1].

(8) 편석(segregation)

편석은 회전 balance가 잡히지 않았거나 용탕이 회전중에 적하되거나 회전 속도가 빠르거나 주입속도가 너무 빨라서 용탕이 비산되거나 주입온도가 너무 높거나 응고속도가 느릴 때 생긴다[1]. 실제의 예로는 연철동에서는 연이 분리 편석되므로 수직식을 사용해서 회전속도를 낮게 하여 주입한다.

9. 비철금속의 원심주조 응용

(1) 동합금의 원심주조

예전부터 동합금의 원심주조의 공업화가 진행되어 왔다. 최근에는 기계적 혼합합금인 연철동 또는 연황동

등도 주조 되고 있다. 개스결합이 특별히 발생하기 쉬운 순동 쉽게 얻어지게 되어 이용도가 증가하는 추세이다. [표1, 2]

제품으로서는 베어링이 주요한 품목이지만 Al청동의 기어, connecting rod, slide, 압연기용의 shaft fork, screw down nut, 성형금형, 석청동의 suction roll, 고압 cylinder, 항공기용 gear, 슬라이드 와셔, seal ring, valve 용 liner, Mn 청동의 gear, 호오스의이음쇠, Ni 청동의 전파반송기용 pressure tight 등이 만들어진다 [11,12].

(2)경합금의 원심주조

경합금의 경우에는 특히 큰 회전속도를 필요로 하고, 또 합금의 산화물을 원심력에 의해서 분리하는 것이 곤란해서 원심주조가 힘들었지만 최근의 연구에 의하면 적당한 주조조건을 정하기만 하면 기계적 성질도 우수한 제품을 만들 수 있음이 밝혀졌다. 제품으로는 Al합금으로 금형 반원심주조한 adapter-plate와 Mg합금으로 진원심주조한 파이프가 소개되고 있다.(표 3)

(3) 복합재의 원심주조

2종의 금속을 서로 혼합되지 않도록 한편의 금속은

표 1. 원심주조동합금의 기계적 성질 비교 (John L. Everhart).

합금명	성분	인장강도 (kg/mm ²)	항복점 (kg/mm ²)	연신율 (%)	경도 (Hv)
연황동	Cu 85, Sn 5, Pb 5, Zn 5	21.1	9.8	20	60
청동	Cu 88, Sn 10, Zn 2	28.1	12.7	20	70
연청동	Cu 83, Sn 7, Pb 7, Zn 3	21.1	11.3	12	62
Mn 청동	Cu 65, Al 5, Fe 3, Mn 3, Zn 24	72.4	37.3	25	190
Mn 청동	Cu 61, Al 5.5, Mn 3, Fe 3.5, Zn 나머지	77.3	42.2	12	223
Al 청동	Cu 85, Al 11, Fe 4	52.7	21.1	12	146
Al 청동	Cu 78, Al 10, Fr 4, Ni 4, Mn 4	63.3	31.6	10	167
Ni 청동	Cu 85, Sn 10, Pb 2, Ni 3	31.6	17.6	18	75
Nikel silver	Cu 65, Zn 15, Ni 12, Sn 2, Pb 6	23.9	12.3	25	50
Cu-Ni	Cu 나머지, Ni 20, Fe 1, Mn 1	52.7	38.7	10	-

표 2. 동합금에 있어서 원심주조와 보통주조의 기계적성질 비교 (John L. Everhart).

성분(%)		주조 방법	인장강도 (kg/mm ²)	항복점 (kg/mm ²)	연신율(%) 표점거리50 mm	단면수축율 (%)	경도 (Hv)
Cu	Al						
90	10	보통주조	49.9	19.7	30	31	-
		원심주조	54.8	22.5	39	34	-
bal.	10.5	보통주조 (사형)	63.3	26.0	14	12	183
		원심주조	73.8	26.7	20	20	187
bal.	11.5	보통주조 (사형)	59.8	28.1	4	3.5	212
		원심주조	66.8	28.1	5	4.5	-
bal.	13	보통주조 (사형)	52.7	38.7	1.5	0.5	285
		원심주조	56.3	38.7	1.5	0.5	285
88	9	보통주조	55.5	20.4	40	40	-
		원심주조	61.9	22.5	40	42	-
86	10	보통주조	59.1	24.6	12	11	-
		원심주조	68.2	26.7	17	17	-
58	1	보통주조	50.6	18.3	30	30	-
		원심주조	54.8	23.2	37	38	-
61	5.5	보통주조	78.8	49.2	15	20	-
		원심주조	84.4	51.3	23	29	-
88	-	보통주조	28.8	14.8	39	32	-
		원심주조	34.5	14.8	61	40	-
88	-	보통주조	33.1	16.9	25	28	-
		원심주조	36.6	19.0	55	54	-

표 3. Mg 합금 (AZ 92, 9Al-2Zn-0.2Mn-Mg) pipe 의 원심주조와 보통주조에 있어서의 기계적 성질 비교 (F. P. Strieter).

주조방법	주입온도(°C)	인장강도 (kg/mm ²)	항복점 (kg/mm ²)	연신율(%) 표점거리 50 mm	입도(mm)	입도 지수
보통주조법	671704746	21.921.021.9	15.215.114.6	1.31.01.2	0.230.230.28	655
원심주조법	671704746	25.725.926.0	20.217.817.5	1.01.81.4	0.080.110.11	41010

표 4. 원심주조 Ni 합금의 기계적 성질의 비교 (John L. Everhart).

합금명	성분	인장강도 (kg/mm ²)	항복점 (kg/mm ²)	연신율 (%)	경도 (Hv)
Nikel		31.6-42.2	14.1-21.1	15-30	80-125
Monel		45.7-63.3	22.5-31.6	25-50	125-150
S-monel		84.4-102.0	56.3-91.4	1-4	275-350
H-monel		52.7-80.9	31.6-56.3	10-20	175-250
Inconel		49.2-66.8	21.1-31.6	10-30	160-190
HW(ACI)	Ni 60, Cr 12	47.8	28.1	8	175
HX(ACI)	Ni 64, Cr 17	47.8	28.1	8	175

고체상태에서, 다른 편이 금속은 용융상태에서 정착하는 방법이다.

Composite casting은 베어링의 사용조건이 가혹하여 황동등의 내마모성을 갖고 그 위에 주철강과 같은 강도를 갖는 것을 위해 개발된 것이지만 동합금을 절약하고 가격을 싸게 할 목적으로 사용되고 있다. 실제로는 원심침지법, 용탕장입원심법, 냉제장입원심법이 있다[13].

(4) Ni합금

엄격한 내식성, 내마모성 또는 내열성이 요구되는 부품생산시에 원심주조가 사용되며 기계적 성질이 원심주조에 따라 개선된다.

재질로서는 Ni-monel, H-monel, S-monel, Si-Ni의 inconel, Si-inconel이 있고, 내열성을 요구하는 것으로는 ACI 규격의 HW, HX가 원심주조되고 있다.(표 4)

제품으로서는 해수펌프용 shaft sleeve, 석면원료분쇄기용 sleeve, impeller, 열처리용 roller가 만들어지고 있다[11,12].

참고문헌

- [1] Nathan Janco: "Centrifugal Casting", (1988)
- [2] 京藤和彦: "遠心鑄造法", (昭和 43年 6月)
- [3] T. Watmough and J.T. Berry: "Foundry, 89", (1961)
- [4] J. F. Wallace: "Transaction of A.F.S. 81", (1953)
- [5] F. G. Carrington: "Transaction of A.F.A, 52", (1944)
- [6] C. W. Briggs: "Foundry, 74", (1946)
- [7] F. Polzger: "Giesserei, 429", (1955)
- [8] R. F. Hudson: "Metal Industry, 60", (1642)
- [9] L. Northcott: "Proceeding of Institute of British Foundrymen, 40 B", (1946-1947)
- [10] W. A. Geisler: "Metal Industry, 59" (1939)
- [11] Sandusky Foundry and Machine Co: "Machine Design, 10", (1959)
- [12] J. L. Everhart: "Materials in Design Engineerings, 9", (1958)
- [13] G. Schwietzke: "Metal Industry, 72", (1953)
- [14] J. L. Everhart: "Materials in Design Engineerings, 8", (1958)
- [15] M. L. Samuel Sand Schuh: "Foundry, 79", (1951)