

技術資料

원심주조기술
<시린더 라이너 주조중심으로>

최 양 진

Centrifugal Cast Technology

Y. J. Choi

1. 개 요

원심주조는 주입할 때 주형이 회전하는 상태에서 용탕을 주입하여 원심력을 작용시키고, 이 원심력의 효과를 이용하여 품질이 양호한 주조품을 싼 제조비로 만드는 것을 목적으로 하는 주조방법의 한 가지이다.

제품의 형상에 따라 원심력의 이용방법이 다르다. 일반적으로 세가지 종류로 나눈다. 그러나 여기서는 진원심주조에 대하여 기술하고자 한다.

그림 1에서와 같이 회전하는 원통의 주형내에 용탕을 넣고 회전시켜 원심력에 의하여 주형내면에 압착응고 하도록 하여 중공주물을 얻는 방법이다. 이 방법의 장점은 다음과 같다.

- 1. 코아(Core)가 필요 없다.
2. 재질이 치밀하고 강도가 크다.
3. 주물내부에 기포, 용재의 개입이 적다.
4. 주입구, 압탕이 필요 없다.

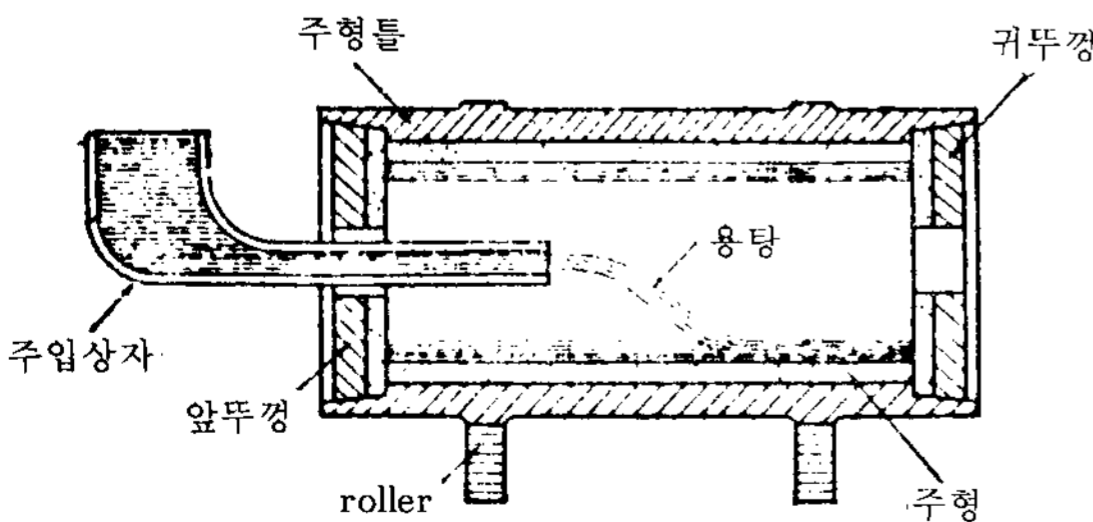


그림 1. 진원심주조

위와 같은 장점에 비하여 단점으로는 원심주조는 용탕에 원심력이 작용하고 있기 때문에 용탕속에 가벼운 비금속개재물의 원통내부에 집결하여 내면의 가공여유증가와 용탕의 비중의 차이에 의한 편석이 문제점으로 된다.

진원심주조 원리를 사용해서 생산되는 제품으로는 단면이 원형모양을 한 수도용 주철관, 실린더 라이너, 피스톤링, 차륜등이다.

본 자료에서는 본인이 H이연에 근무시 자동차용 시린더 라이너 및 스리브 주조시 발생된 문제점에 대하여 기술한다.

2. 이론적 배경

진원심주조에는 수평식 원심주조와 수직식 원심주조가 있다.

(1) 수평식 원심주조의 경우

수평식 원심주조로서 관상의 주물을 만든 때는 원심력을 중력보다 크게 하지 않으면 안되기 때문에 다음과 같은 관계가 있다.

mrω² > mg

이론적으로 mrω² = mg, 즉 각속도 ω = √(g/r)가

ω : 각속도

r : 회전반경(cm)

g : 중력가속도(cm/sec²)

되고 최소회전속도는 다음과 같다.

N = (60 / 2π) * √(g/r) = (30√2 / π) * √(g / √D) = (30√2 * √980) / (3.14 * √D)

$$= \frac{30 \times 1.4142 \times 31.30495}{3.14} / \sqrt{D} \quad (1)$$

이 회전속도는 용탕이 가속되어 평형상태에 대하여 회전하고 있을 때에 필요한 원심력에 상당하는 것이다.

그러나 용탕을 주입하면 이 용탕은 주형벽과의 마찰력에 의하여 표면이 가속되고 다시 용탕은 점성에 의하여 내부로 향해 점차 가속되어 회전이 전달되어 가는 것으로서 용탕과 주형과의 미끄럼(slip) 그리고 용탕의 점성때문에 실제의 회전속도가 계산상의 최저회전속도보다 훨씬 높지 못하면 내측의 회전속도가 낮아지게 되어 용탕이 완전히 주형의 내면에 부착되지 않고 작은 방울이 되어 낙하한다.

Wiesner는 실험적으로 실제로 필요한 회전속도 N(rpm)와 직경 D(cm)에 관하여 다음의 관계식은 구했다.

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

그러나 일반적으로는 원심력이 중력의 몇 배가 되는가 하는 중력배수 G를 구하여 다음의 관계식으로부터 회전속도를 구한다.

r : 반지름, dm : 질량, ω : 각속도, de : 원심력이 라 하면

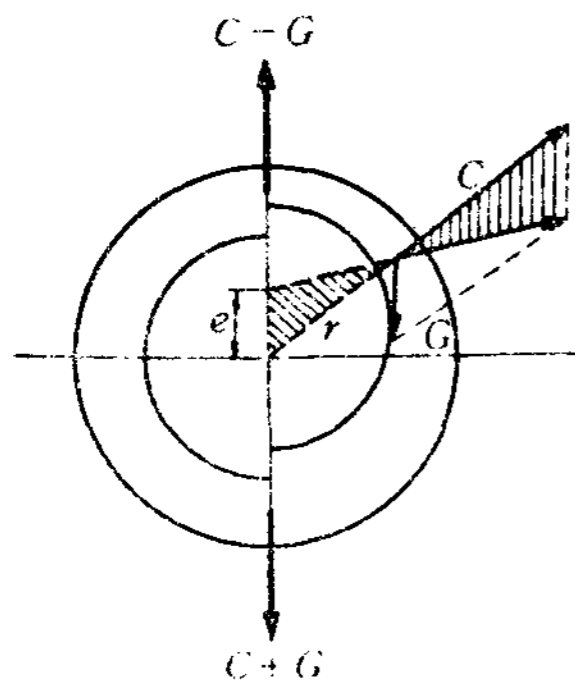
$$de = dm \cdot r \omega^2 = (r \cdot d\theta \times dr \times 1) \cdot \frac{r}{g} \times r \omega^2$$

$$= \frac{r}{g} \cdot \omega^2 \cdot r^2 \cdot dr \cdot d\theta$$

단, r는 비중량이다.

원통의 단위길이에 대한 원심력은

$$C = \frac{r}{g} \cdot \omega^2 \int_0^{2\pi} \int_r^{r_1} r^2 \cdot dr \cdot d\theta = 2\pi \cdot \frac{r}{g} \cdot \omega^2$$



$$\frac{r_1^3 - r_2^3}{3}$$

주형 단위면적에 작용하는 원심력은

$$C_{SP} = \frac{C}{2\pi r_1} = \frac{r \cdot \omega^2}{3g} \left(r_1^2 - \frac{r_2^3}{r_1} \right) \quad (g/cm^2)$$

G를 단위길이(원통 길이 방향)의 중량(쇳물)이라 하면

원통상부에서의 합력은 = C-G,

원통하부에서의 합력은 = C+G

사선부의 3각형에서

$$\frac{e}{G} = \frac{r}{C} \quad \therefore e = G \cdot \frac{r}{C}$$

G = m · g와 C = mr · ω²이므로 e = m · g ×

$$\frac{r}{m \cdot r \times \omega^2} = \frac{g}{\omega^2}$$

즉, 회전수가 커지면 중심차는 적어진다. 그러나 ω를 너무 크게 하면 원통에 너무 인장력이 작용하여 균열(crack)이 생길 염려가 있으므로 회전수는 중력배수 G, 즉 $\frac{\text{원심력에 의한 가속도}}{\text{중력에 의한 가속도}}$ 에 의하여 산정하는 것이 보통이다.

$$G_{NO} = \frac{r \cdot \omega^2}{g} = \frac{D}{2} \frac{2\pi N}{60}^2 \frac{1}{(980cm/sec^2)} = \frac{DN^2}{179,000}$$

$$N = \sqrt{\frac{60^2 \cdot g \cdot G}{2\pi^2 D}}$$

중력배수(예) 주철관 G_{NO} = 65~75 사형

G_{NO} = 30~50 금형

주강관 G_{NO} = 50~65

표금관 G_{NO} = 50~70

실린더 라이나 G_{NO} = 110~120

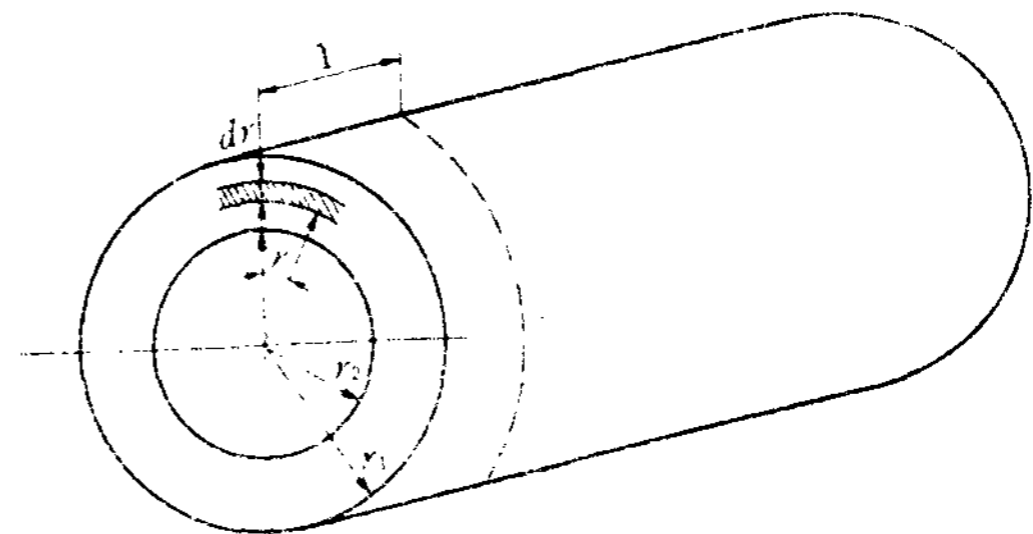


그림 2. 수평식 원심구조의 원리

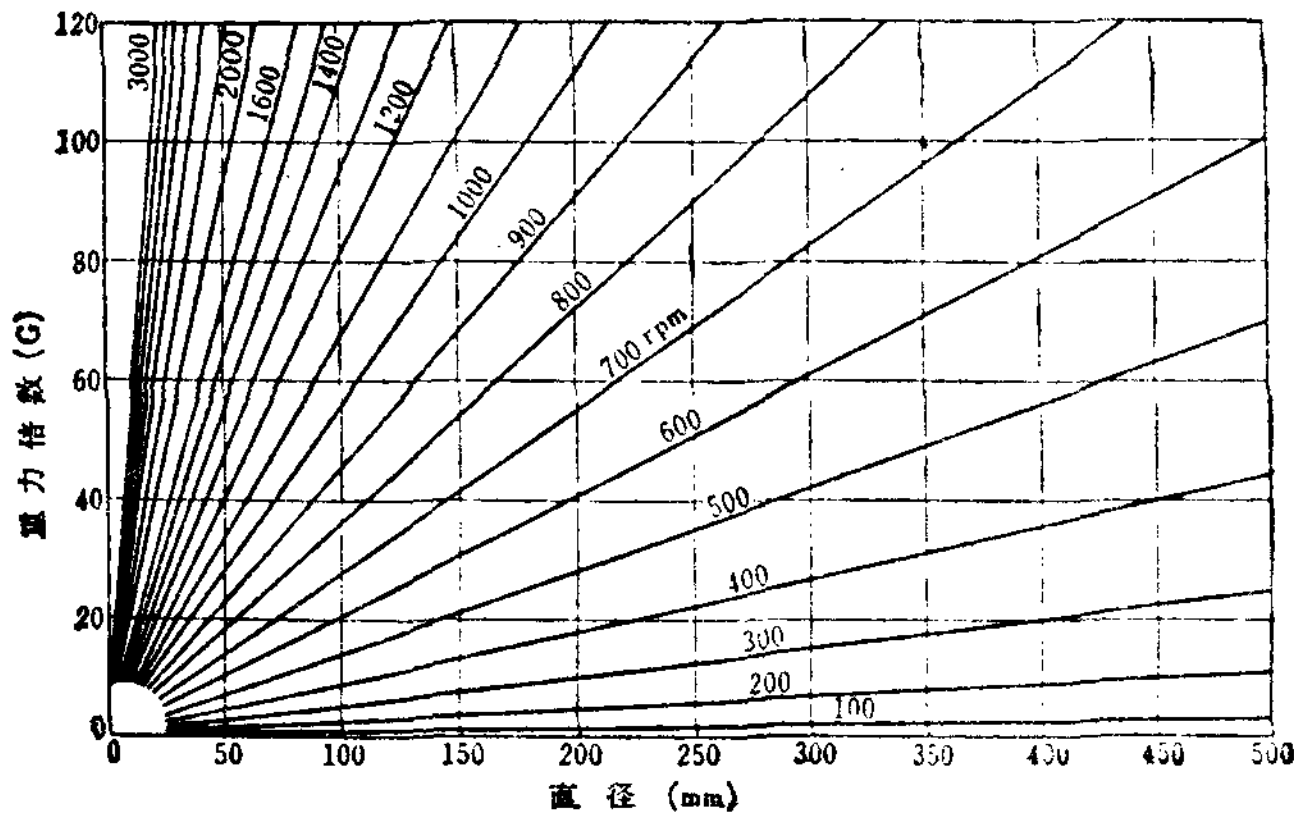


그림 3. 중력배수에 관계되는 회전 속도와 직경과의 관계

(2) 수직식 원심주조의 경우

수직식 원심주조에서 원통상의 주형을 회전시키면서 용탕을 주입하면 그림 4에서 보는바와 같이 중앙이 오목하게 들어가게 되어 가운데가네고, 이 용탕의 표면은 다음의 관계식으로부터 그 단면의 형상이 포물선으로 되는 것을 알 수 있다.(그림 5)

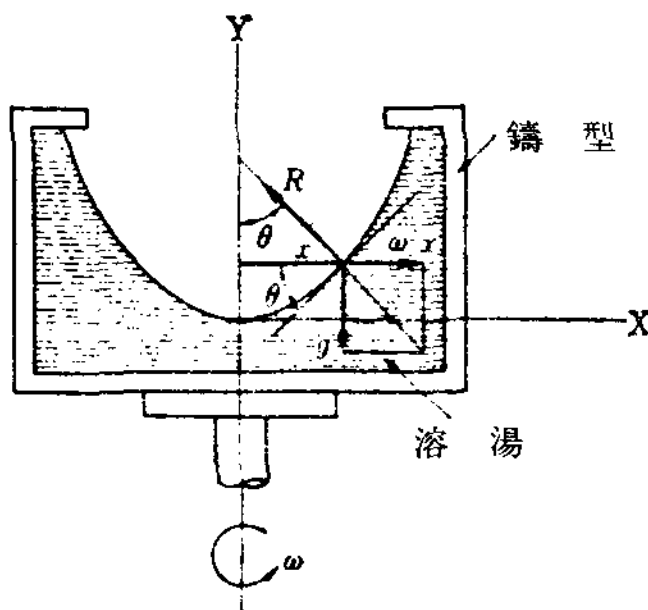


그림 4. 수직식 원심주조에 있어서 용탕자유표면의 계산

$$F = mx\omega^2$$

$$W = mg$$

$$mx\omega^2 = R \cdot \sin \theta$$

$$mg = R \cdot \cos \theta$$

$$\tan \theta = \frac{mx\omega^2}{mg} = \frac{x\omega^2}{g}$$

$$\frac{dy}{dx} = \tan \theta = \frac{x\omega^2}{g}$$

$$dy = \frac{\omega^2}{g} x dx$$

$$y = \frac{\omega^2 x^2}{2g} = \frac{\omega^2}{2g} x^2 \cdot \frac{2\pi N}{60}^2 \cdot \frac{1}{2g} \cdot x^2 = \frac{2\pi^2 N^2}{60^2 g} x^2$$

여기서

F : 원심력($g \cdot cm/sec^2$)

x : 회전반경(cm)

y : 포물선의 정점에서부터의 높이(cm)

N : 회전속도(rpm)

θ : 수직축과 R방향과 이루는 각(radian)

W : 중력($g \cdot cm/sec^2$)

ω : 각속도 $\frac{2\pi \cdot rpm}{60}$

g : 중력가속도($980cm/sec^2$)

R : 원심력과 중력의 합력($g \cdot cm/sec^2$)

그러나 실제로 수직식 원심주조를 할 때는 그림 5에서 보는 바와 같이 이 포물선의 일부를 이용하고 있다. 이 경우 회전속도와 주물의 치수 사이에는 다음 관계가 있다.

$$y_a = \frac{2\pi^2 N^2}{60^2 g} r_a^2$$

$$y_b = \frac{2\pi^2 N^2}{60^2 g} r_b^2$$

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

$$N^2 = \frac{60^2 g}{2\pi^2} \times \frac{H}{(r_a^2 - r_b^2)}$$

$$N = \sqrt{\frac{60^2 g}{2\pi^2} \cdot \frac{H}{r_a^2 - r_b^2}}$$

$$= 423 \sqrt{\frac{H}{r_a^2 - r_b^2}}$$

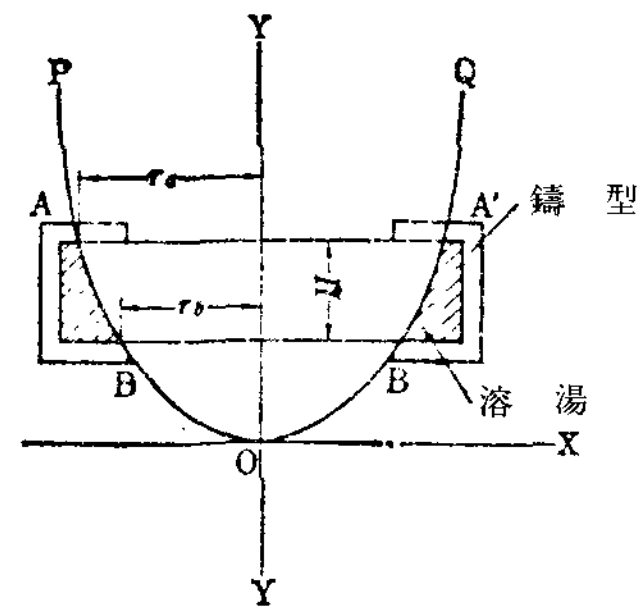


그림 5. 수직식 원심주조에 있어서 용탕의 실제상태

3. 원심주조용 주형

원심주조에 사용되는 주형은 영구주형, 반영구주형 및 합성주형의 세가지로 분류된다.

(1) 금형

금형은 일정한 주물을 양산할 때에 사용되며 주물을 주형으로부터 용이하게 발취될 수 있어 주철

관, 자동차용 시린더 라이너, 피스톤링등 주조에 많이 채택된다.

(2) 금형의 도형

금형의 도형은 보통 용탕주입전에 행해진다.

도형의 목적

- ① 금형과 주입된 용탕과의 융착 방지
- ② 주입된 용탕의 탕경 방지
- ③ 용탕이 주형면에서의 미끄럼 방지
- ④ 주조품의 백선(chill) 방지
- ⑤ 제품의 발취용이

상기한 목적을 달성하기 위하여 금형 내면에(보통 150~200°C로 예열된 금형) 보통 0.25~2.00mm 정도의 도형재를 스프레이건(spray gun)로 도포한다. 이 때 원통(금형)의 온도가 너무 높으면 작은 방울은 금형에 부착하는 도중에서 수분이 증발하기 때문에 도형이 되지 않아 금형면과 용탕이 직접접촉하여 백선 또는 핀홀(pin hole) 불로홀(blow hole) 등의 불량 발생된다.

도형용 내화재료는 보통 규사, 지르콘사운모, 규조토등이 사용되고, 점결제조는 벤토나이트 또는

규산소다, 수지 등이 사용된다. 도형제의 점도 및 농도관리가 필요하며 스프레이건의 노즐(spray gun nozzle) 구멍을 막히게 하지 않기 위하여 슬러리(slurry) 상태의 도형제를 체거름 할 필요가 있다. 또한 금형에 도형제를 고루 도형하기 위하여 노즐의 분사각도, 공기의 압력, 분사속도의 연구가 필요하다.

또한 주물의 칠(chill)을 방지 하기 위하여 금형 내면에 레진코티드샌드(resin coated sand)를 175~250°C 예열된 금형에 코팅하는 방법도 택하여 사용한다.

(3) 사 형

시린더 라이너 주조에서는 주물의 흑연분포와 형상을 조절하고자 금형보다 냉각속도를 줄이고저 이때 사형원통을 제작하여 사용한다. 이때 사형원통을 만들기 위하여 모래+점결제+수분을 첨가 혼련하여 주물사를 만들어 주형을 제작한다.

이때 주형의 수분에 의하여 주물내부에 가스결합이 생기는 경우가 자주 있다.

주형의 완전한 건조와 외형의 금형에 가스벤트

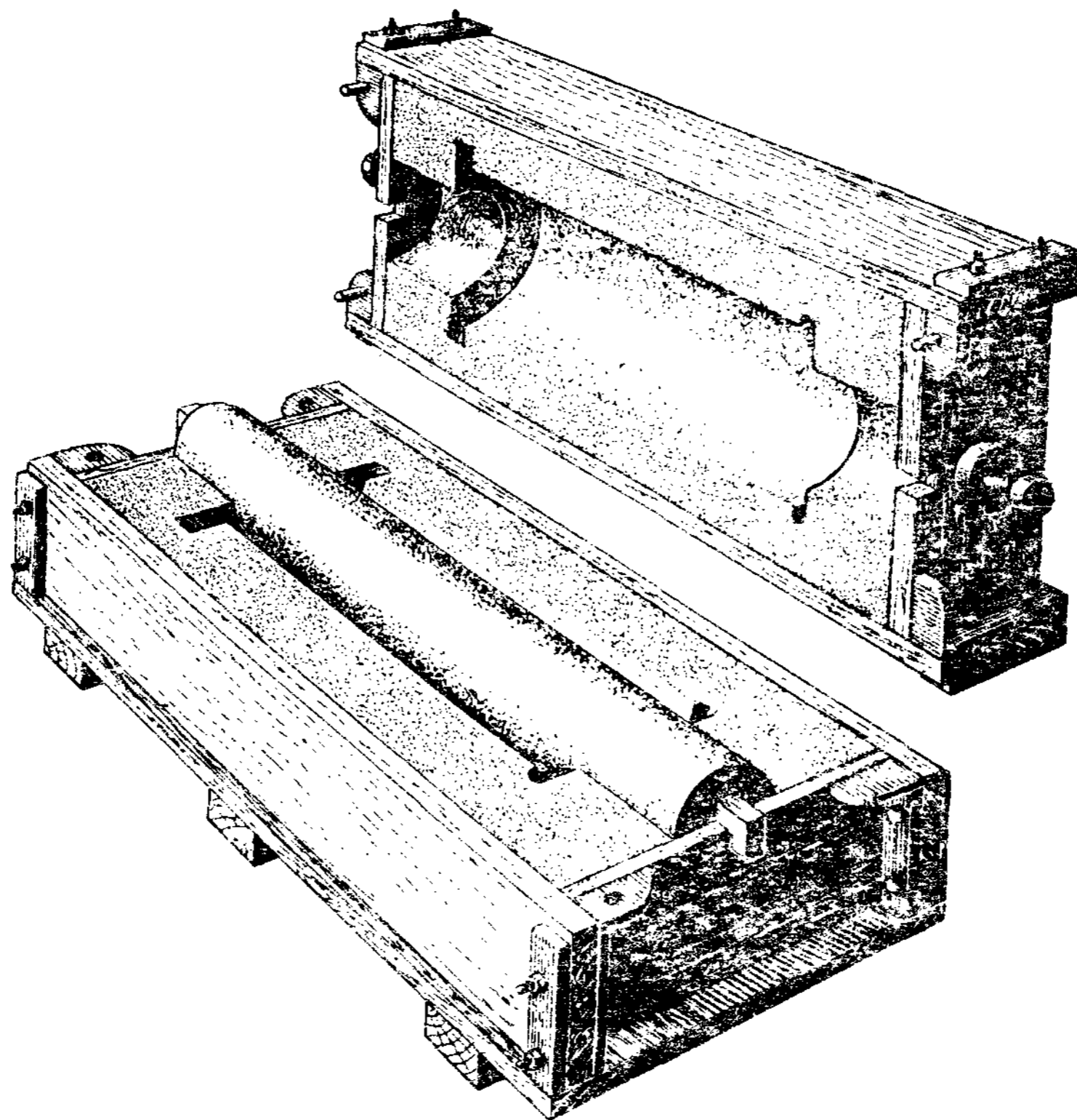


그림 6. 시린더 라이너의 두께 편육

홀(gas vent hole)을 적당히 열어주어야 한다.

4. 주조결함과 방지대책

<원 인>

- ① 시린더 라이너의 두께 편육

<대 책>

일반 사형에서의 주물은 그림 6와 같은 방법으로 편육을 방지 할 수 있으나 원심주조에서는 주조기의 수평으로 편육을 방지 할 수 있다.

② <원 인>

용탕주입불량에 의한 제품중상부의 수축공 및 탕경불량

<대 책>

- ① 주입온도
- ② 주입속도
- ③ 회전속도
- ④ 주입위치(그림 7 참조)
- ⑤ 금형온도 및 주입을 일시 중단후 주입의 제거
- ⑥ 사형의 경우는 주형의 건조불량을 제거



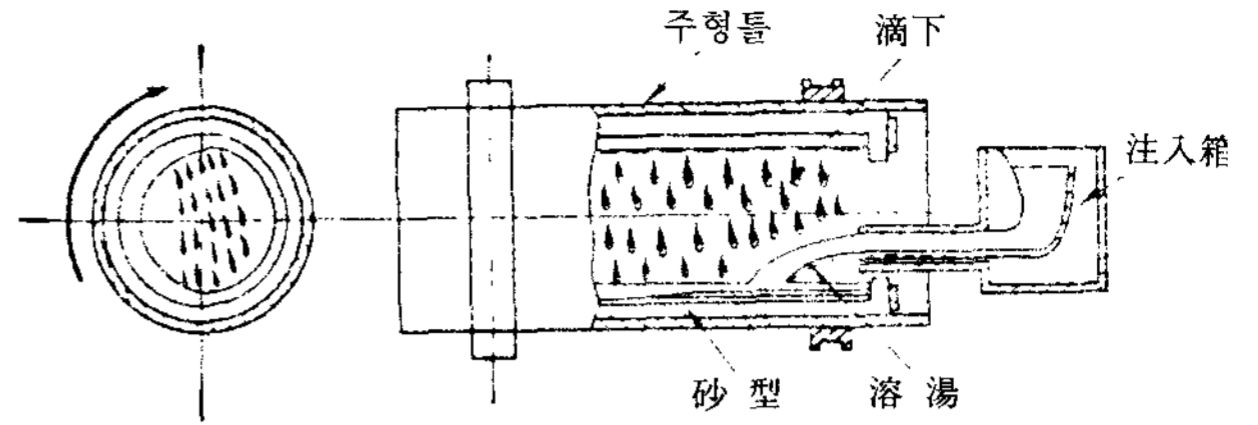
그림 7. 용탕의 주입 위치

③ <원 인>

용탕의 적하현상

<대 책>

- ① 주입온도
- ② 주입속도
- ③ 회전속도
- ④ 주입위치



⑤ 주조기의 진동

⑥ 주조기의 회전속도

주형의 내면에 도형재를 처리하여 위 여섯가지 사항을 조합하여 불량을 막을 수 있다.

<원 인>

④ 금형의 도형재 박리현상에 의한 부분적인 칠(chill)현상 및 가스홀 발생

<대 책>

금형을 적당히 냉각 시킨다(200~300°C)

<원 인>

⑤ 주물편석

<대 책>

- ① 주형의 수평에 의한 기계진동방지
- ② 주형 회전속도 부족에 의한 용탕의 회전중 적하방지
- ③ 회전속도 조절
- ④ 주입속도
- ⑤ 주입온도
- ⑥ 용고속도등을 조절한다.

<원 인>

⑥ 주물의 탕경

- ① 주입온도
- ② 주입속도
- ③ 회전속도
- ④ 주형온도등을 조절한다.

⑦ 용탕의 침투현상

<원 인>

- ① 주형의 경도불량
- ② 주형의 회전속도가 클때
- ③ 주형인금형과 내형인 사형의 치수의 불량에서
- ④ 사형의 강도불량

<대 책>

위 ①~④의 사항을 개선하고 도형재를 잘 칠한다.

<원 인>

⑧ 제품의 블로홀(blow hole)
 주물 외측면에 가스결함은 도형시 수분 및 휘발
 분 또는 사형주형의 경우 건조불량

<대 책>

- ① 주형건조
- ② 주형에 가스홀을 뚫어준다.

⑨ 제품수축발생(shrinkage)

<원 인>

- ① 주형의 온도가 높을때
- ② 주입도중 적하현상
- ③ 제품의 두께가 클때

<대 책>

- ① 방향석 응고가 일어나도록 주형외면 냉각 또
 한 주물내부에 더운 가스열 넣어준다.
- ② 냉각속도 조절
- ③ 구상주철의 경우는 금형을 사용하면 효과적
 이다.
- ④ 응고시간전 제품추출

⑩ 열간균열

<원 인>

- ① 과잉탄화물 안정화원소
- ② 화학조성 잘못
- ③ 오염된 고철사용
- ④ 제품의 급냉<회전속도과대>

<대 책>

- ① 회전속도 조절
- ② 장입금속 선별
- ③ 화학성분조절

⑪ 역칠<inverse chill>

<원 인>

- ① 주형의 과잉수분함유 또는 금형온도
- ② S와 Mn 함량의 불균형
- ③ 탄화물 안정화원소

<대 책>

상기 3가지 사항 조절

⑫ 침식스캡(erosin seap)

<원 인>

- ① 막혀버린 주형상자 배기공
- ② 주물사의 열간변형능 불충분한 경우
- ③ 모래의 혼련부족
- ④ 도형재의 불충분한 용입
- ⑤ 불균질한 다짐
- ⑥ 주입온도과다

<대 책>

상기 사항조절

⑬ 탕새어나옴(runot and bleeder)

<원 인>

- ① 외형인 금형과 내형인 사형과의 치수 불량에
 의한 주형의 파괴
- ② 사형의 강도불량 및 주형다짐강도 부족

<대 책>

- ① 정밀한 금형가공
- ② 사형의 문제점 보완

5. 결 언

원심주조에서는 시린더 라이너를 다량 생산할
 수 있다는 이점도 있으나 회전속도의 선택을 잘못
 하여 재질에 미치는 영향(후연형상 및 분포등)과
 그 외에도 편석 및 내면의 가공량 증가와 내면경
 도가 문제점으로 되어 계속 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- 1) <BEELEY>
 FOUNDRY TECHNOLOGY
- 2) 日刊工業新聞社
 特殊鑄造法
- 3) <이종남>
 특수주조공학
- 4) 주물편람
- 5) AFS CASTING DEFFCTS HANDBOOK