해외기술자료

초심자라도 아는 주철주조방안의 기초 (제 3회)[1)]

松田政夫*
松田技術士事務所

Basis of Gating System & Risering on Iron Castings for Primary Engineers - Part 3 -

Masao Matsuda*
Matsuda Consulting Engineer Office

번역 : 최정철[2)]

7. 탕구방안의 개선 예

7.1 컴팩트한 탕구방안에서 이물분리를 향상시킨 예

그림 1-26의 브레이크디스크의 방안은 모래파임 결함발생을 적게하기 위해 개량시킨 방안이다. 개량전은 주물상면 중앙 둥근구멍 주위에 걸치는 두께 2 mm의 평판 주입구이어서, 주입구의 총단면적은 6 cm^2을 넘어었다. 탕구높이, 체적, 주입시간등으로부터 계산해 보면, 주입구단면의 거의 2/3은 주입시간중 흐르고 있지 않는 것을 알았다. 주입구 수는 개량후의 그림과 같이 2개로 충분하다. 원래의 탕구방안은 컴팩트로 주방율이 극히 좋으므로 그 이점을 살리도록 해서 좁은 범위내에서이지만 이물질 부상분리 목적의 탕도를 그림과 같이 설계했다.

주입구 수를 적게하려면 1개당의 단면적이 크게되므로 압탕의 장에서 설명하는 1차 수축(융액시의 수축)분을 탕구로부터 보충하는 것도 효과가 있다.

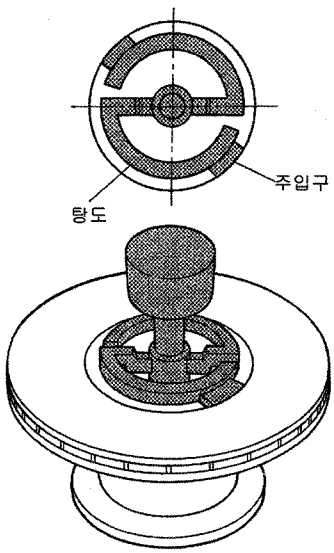


그림 1-26. 브레이크 디스크의 주조방안

7.2 의미가 없는 차(車) 주입구

과거 브레이크드럼 주물에 차 주입구이라고 칭해서 주물을 탕도에서 둘러싸 많은 주입구를 붙이는 예를 발견한 적이 있다. 브레이크드럼에는 머리띠모양의 후육부가 있다. 이 후육부가 박육부에 대하는 용탕분배의 역할을 하므로 탕회전 결함은 일어나지 않을 수 없다. 그림 1.27과 같이 주입구는 1개나 2개로 충분하다.

머리띠모양의 후육부에는 수축공이 발생하기 쉽다. 용탕충전을 잘 하기 위해서는 주입구 수를 감소시키고, 두꺼운 주입구로 하는 것이 좋다. 주입구가 적은 것은 수축공의 발생위치를 주입구전에 집중시켜, 처치가 용이하게 된다는 이점이 있다. 기포가 발생하는 경우에도, 발생장소는 주입구전의 머리띠부에 오므로 주입구가 적은 것은 압탕의 수를 적게 할수 있는 것과

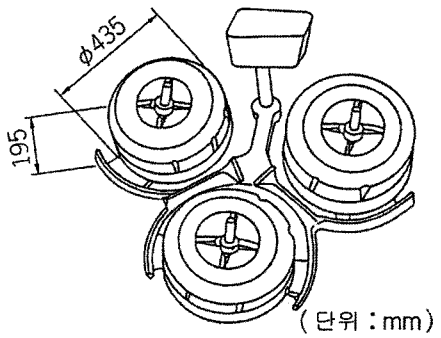


그림 1-27. 브레이크드럼의 주조방안

1) 일본주조공학회지 vol 77 No 3 (2005) pp. 221~226에 게재된 자료임
2) 아주대학교 신소재공학전공(Ajou University) 교수

연결된다.

8. 탕구방안의 계산연습

8.1 2단 주입구에의 응용예

그림 1-20 및 그림 1-24(c)에 의해, 주탕받이이나 2단 주입구의 취급방법을 설명했다. 다음의 연습문제에서 계산방법을 습득해보자.

[문제]

그림 1-28에 나타내는 탕구방안은, 상 주입구 4개, 하 주입구 4개의 2단 주입구이다. 주입구의 유속은, 상 주입구, 하 주입구 모두 110 cm/s로 하고 싶다. 유량은, 탕구에서 1000 cm^3/s, 상 주입구, 하 주입구 각각 500 cm^3/s 탕도의 유속은 40 cm/s로 하기 위한 다음의 단면적을 구한다.

주탕받이의 단면적 A_0, 상 주입구 4개분의 단면적 A_3, 하 주입구 4개분의 단면적 A_3', 상 탕도의 단면적 A_2, 하탕도의 단면적 A_2', 수직탕도조임의 단면적 A_1'.

[해답]

주탕받이의 단면적 A_0: 주탕받이의 유속에는, 식 (8) $v_0=C_0\sqrt{2gH_0}$ 을 적용한다. C_0=0.95로 잡으면 C_0=0.95가 된다. 단면적 A_0는, 유량/유속이므로 A_0=1000/133=7.5 cm^2가 된다. 이 예에서는 캐비티내의 레벨이 상승하면 탕구내 레벨이 곧바로 주탕받이(목)에 달하고, 그 후는 연속의 흐름이 된다. 그 경우는 식 (3) $v_1=0.89\sqrt{2g(H_t-H_2)}$이 적용이 되지만, $v_1=0.89\sqrt{2g(20-9)}$ =131cm/s이어서, 식 (8)의 경우의 133 cm/s라고 거의 변하지 않는 것이 된다. 따라서 A_0=7.5 cm^2채로 좋다.

주입구의 단면적 A_3, A_3': 상 주입구, 하 주입구 모두 유속을 110 cm/s로 하는데는 그림 1-18의 유량계산도로부터 H_2, H_2'를 각각 9cm로 잡으면 좋다는 것을 알 수 있다. 또한 식(4)으로 검산해 보면 잘 알 수 있다. 주입구의 단면적은 유량/유속이므로 상 주입구가 500/110=4.5 cm^2(주입구 1개는 1.13 cm^2), 하 주입구가 같게 500/110=4.5 cm^2, 상하 합해서 9.0 cm^2가 된다.

탕도의 단면적 A_2, A_2': 상 탕도 좌우 각각의 단면적 A_2=250/40=6.25 cm^2, 하 탕도 A_2'=250/40=6.25 cm^2. 탕구저로부터 최초의 주입구까지는 이 수치로 하고 후는 유량에 비례시켜서 감소시켜도 좋다.

수직탕도조임의 단면적 A_1': 수직탕도조임으로 잃어버린 헤드차(그림 1-20의 H_t'-H_2'에 상당)을 구한다. 주입구에 걸리는 헤드 H_2 및 H_2'이 9 cm이어서, H_t'-H_2'=H_2+15cm-H_2'=15 cm, 그래서 식 (3), 또는 그림 1-18로부터 수직 탕도조임의 유속 v_1'=150 cm/s을 얻는다. 수직 탕도조임의 단면적 A_1'는 유량/유속=500/150=3.3 cm^2(한쪽방향에서는 그 절반)이 된다. 유효탕구크기에 의한 보정은 하지 않아도 좋다.

8.2 실린더블록의 탕구방안

[문제]

하기의 조건에서 그림 1-29의 회주철의 실린더블록의 탕구방안을 결정하라.

개요: 주물은 중량 140 kg, 육후 약 5 mm의 박육부와 20-30 mm 정도의 보스부로 구성되어있다. 고체코아시대에 실제로 이용되었던 방안이지만, 현재는 쉘중자 구성으로 변경되어 있기 때문에 이러한 방안은 사용되지 않는다.

발생하는 결함: 일어나기 쉬운 결함은, 탕회전 불량, 블로우홀(blow hole), 모래파임, 모래침식이다. 탕회전 불량은 주로 상형의 a부에 일어난다. 주입온도는 1673 K(1400°C)이상의 높은 편으로 하고 있다. 블로우홀은 b부에 발생하므로 유동성이 열화한 용탕이 배출되는 것을 기대해서 압탕을 붙이고 있지만, 실제로 배출된 것은 온도가 높은 후속의 용탕이 되는 가능성이 높다. 압탕의 효용에 대해서는 의문이 남는다. a부, b부에 고온의 용탕을 유도하기 위해 주입구는 될 수 있는 한 높은 위치에 붙였다. 이 효과는 비교실험으로 확인되었다.

주입구: 주입구는 후육의 메인베아링부에 7개 붙였다. 일반적으로 각 주입구가 분담하는 주물의 범위를 크게 나누어서, 각 주입구의 유량을 설정하지만, 이 경우는 균등분배로 한다.

주입구를 두텁게 하기 위한 고안: 주탕직후의 용탕의 수축분(압탕의 장에서 설명한다)는 탕구계에서 보충되도록 주입구를 두텁게 하고 싶다. 그런데 탕도의 단면 크기가 5 cm 가까이 되면 예측되므로 주입구를 크게 하면 탕도가 가득차게 되는데 시간이 걸린다. 거기서 그림 1-30과 같이 주입구를 위로 향하

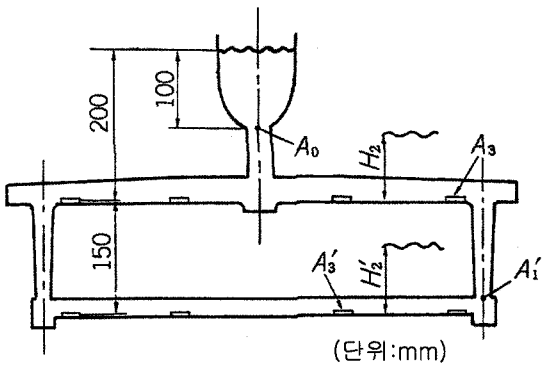


그림 1-28. 2단주입구 경우의 각부 단면적

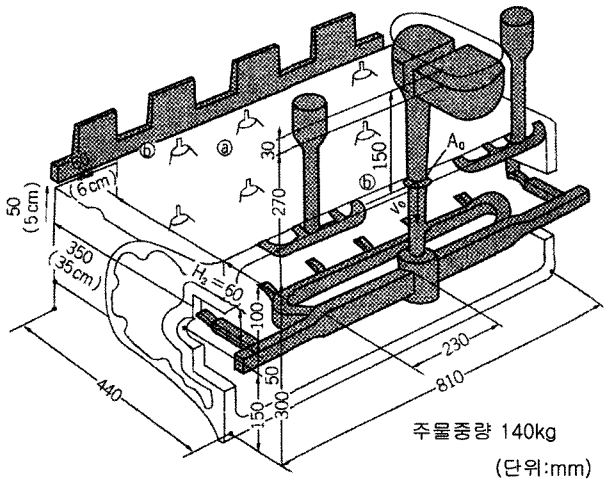


그림 1-29. 실린더블록의 탕구방안

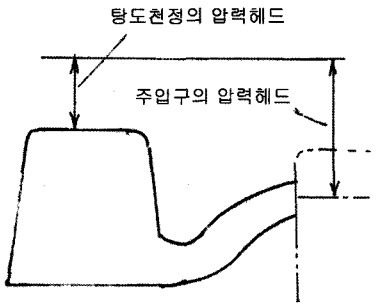


그림 1-30. 당도를 채워 주입구의 유속을 늦게한 예

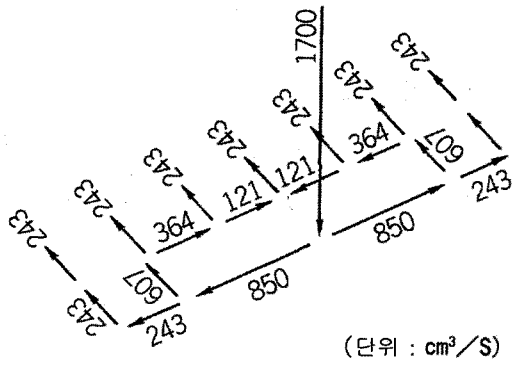


그림 1-31. 실린더블록탕구방안

게 만곡시키는 것으로 빨리 탕도를 충만시켜, 또한 두꺼운 주입구 단면적이 되도록 했다. 단지 이 방법은, 주입구가 수직 나눔의 중자에 의해 형성되는 경우에 한할 것이다.

압탕: 2차수축에 의한 수축공의 발생(2.6에서 후술)이 없으므로, 그러기 위한 압탕은 생각하지 않는다.

탕도의 특징: 슬래그를 탕도에서 포획하기 위해 탕구에 가까운 탕도길이를 크게하기 위해 루프상의 탕도로 했다.

이상은 이미 결정된 것으로서 각부의 계산에 넣는다.

[계산]

① 주입중량 W_p 및 주입체적 V_p의 계산

주물중량 W_0=140 kg에, 탕구계, 압탕, 압탕등의 중량을 계산하여 더하는 방법도 있지만, 여기서는 주방율(주물이 되는 비율) η=0.75를 사용해서 주입중량 W_p를 구한다.

주입중량 W_p: $W_p=W_0/\eta=140/0.75=187$ kg

주입체적 V_p: $V_p=W_p/\rho=187/6.1\fallingdotseq30.7$ L

용탕의 밀도 ρ=6.1 kg/L는, 약 1673 K(1400°C)의 용탕으로서 유럽에서 이용되고 있는 수치이다.

② 적절한 주입시간 t_p을 정한다. 18초로 한다.

③ 해방주입구로 할 때의 탕구의 유량 q 및 탕도, 주입구의 유량계산

$q=\Sigma q_i=V_p/t_p=30.7/18=1.70$ L/s (= 1.700 cm³/s)

q_i: 1개 주입구의 유량, 각 주입구의 분담량은 같다고 했으므로

$q_i=1.700/7=243$ cm³/s

탕도로부터 주입구까지의 가지를 돌아서, 각 탕도의 유량을 그림 1-31과 같이 단면에 기입해 둔다.

④ 탕도의 압력헤드 H_2를 정한다. 탕구에 가까운 탕도단면의 크기가 약 5 cm이 되는 것을 그것보다 약 3 cm 높게 8 cm로 정한다. 주입구를 위로 향하게 했으므로 주입구레벨보다 6 cm의 높이가 주입구에 걸리는 탕도의 압력헤드가 된다.

⑤ 유효탕구높이 He 및 $\varepsilon=\sqrt{H_e-H_t}$의 계산

식 (10)로부터 $H_e=37-\{10^2/(2\times30)\}=35.3$

$\varepsilon=\sqrt{35.3/370}=0.977\fallingdotseq1.0$

따라서 조임이나 주입구의 단면적을 ε으로 보정하지 않아도 좋다.

⑥ A_3: 주입구의 총단면적의 계산: 우선 주입구의 유속 V_3을 계산하고, 주입구 1개의 단면적 $A_3/7$을 구한다.

$V_3=C_3\sqrt{2gH_2}=0.83\sqrt{2\times980\times6}=90$ cm/s

$A_3/7=q_i/v_3=243/90=2.70$ cm² $A_3=18.9$ cm²

⑦ 조임의 단면적 A_0의 계산: 우선 탕구조임의 유속 V_0을 계산한다.

이 예는 탕구조임이 탕고임 액면 수위보다, 15 cm 밑의 탕구의 도중에 있다. 주탕받이에 상당하므로, 조임의 유속은 식 (8)을 적용한다. 탕구내의 저항을 고려하고, 유량계수 C_0의 수치는 0.95보다 약간 적은 0.92로 하자.

$$v_0=C_0\sqrt{2g\times H_0}=0.92\sqrt{2\times980\times15}=158\ \text{cm/s}$$

$A_0=q/v_0=1700/158=10.8$ cm² (d=3.7 cm)

⑧ 탕도의 유속 v_2으로부터 탕도단면 A_2을 구한다.

탕구저에 연결되는 탕도의 길이는, 한쪽 23 cm이 되므로 그 사이를 흐르는 시간이 0.5초가 되기 위해서는 v_2=23/0.5=46 cm/s로 좋다.(약간 빠른 편이다)

탕도단면적 A_2는

$A_2=q/v_2=1700/46=37$ cm²

(한쪽으로는 $A_2/2=18.5$ cm², 약 42×44 mm)

덧붙여 탕구비를 계산하면

$A_0:A_2:A_3=10.8:37:19=1:3.4:1.8$

어느 개소도 합리적인 계산을 했다. 그 결과로서의 탕구비이다. 탕구비에 의한 좋고 나쁘고의 평가는 의미가 없다.

8.3 2개 취한 실린더헤드의 탕구방안

[문제]

그림 1-32에 나타내는 고강도 회주철 2개 취한 실린더헤드의 주조방안을 결정하라. 1개의 주물중량은 80 kg이다. 단 탕도조임은 붙이지않는 것으로 한다.

개요: 주형은 후란계 hot-box이며, 거치주입구를 붙이는 특수한 구조이다. 2단 탕구를 갖는 예로서 들었다.

결함: start-bolt 구멍 천공 가공후, 구멍과 물 jacket 사이가 a부의 수축에 의해 연결되고, 수압검사에서 누수 발견된다고 하는 결함이 자주 발생했다. 비교적 후육의 주물하면을 통해서의 탕구계 압탕효과를 기대해서, 주입구를 두껍게 하고 있지만 충분한 대책은 되지 않는다.

[계산]

① 주입중량 W_p 및 주입체적 V_p의 계산

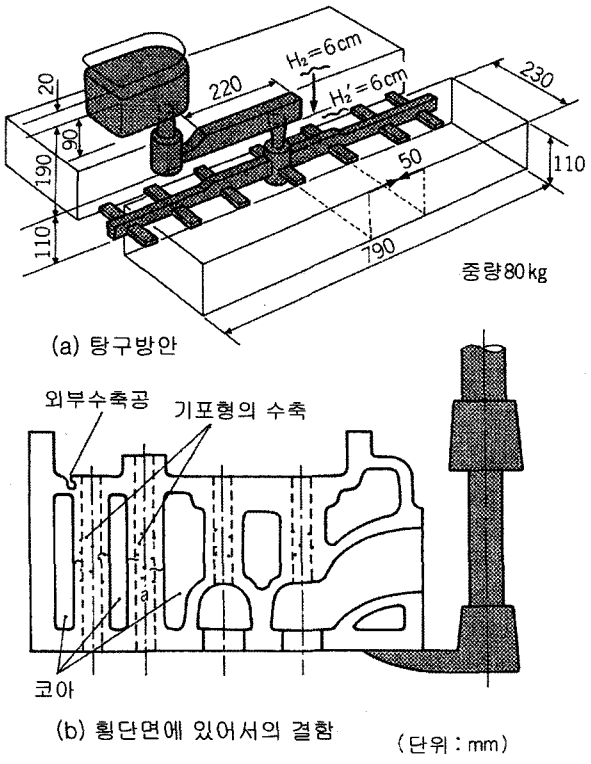


그림 1-32. 실린더헤드의 탕구방안과 결함의 발생위치

주물중량 W_0=80×72=160 kg, η=0.75로 하면
주입중량 $W_p=W_0/\eta$=160/0.75=213 kg
주입체적 $V_p=W_p/\rho$=213/6.1≒35.0 L (=35.000 cm^3)

용탕의 밀도 ρ=6.1 kg/L은, 약 1683 K(1400°C)이상의 용탕의 수치로서 유럽에서 채용되고 있는 수치이다.

② 주입시간 t_p=20초로 잡는다.

③ 해방주입구로 할 때의 각부의 유량계산

$q=V_p/t_p$=35.0/20=1.75 L/s (=1.750 cm^3/s)

q: 탕구의 유량, q_i: 14개의 각 주입구의 유량, 이 경우는 각 주입구의 분담량은 같게 했으므로, qi=1.750/14=125 cm^3/s가 된다. 각부의 유량을 그림 1-33와 같이 기록해 둔다.

④ 탕도의 헤드 H_2를 정한다. 주입구를 크게 하는 것을 고려해서, H_2=6 cm의 적은 수치로 고른다.

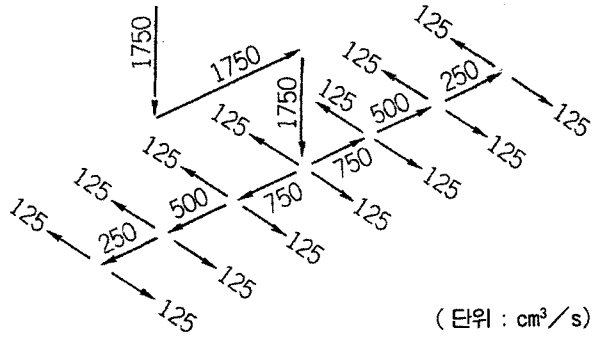


그림 1-33. 실린더헤드탕구방안

⑤ 유효탕구크기 He, 및 $\varepsilon=\sqrt{H_e/H_t}$의 계산

$H_e=H_t-P/2$=300-110/2=245 cm

$\varepsilon=\sqrt{245/300}$=0.9

⑥ 주입구의 총단면적 A_3을 구한다.

우선 유속 v_3을 계산하고, 주입구 1개의 단면적 A_3/14를 구한다.

$v_3=C_3\sqrt{2gH_2}=0.83\sqrt{2\times980\times6}$=90 cm/s

$(A_3/14)=q_i/v_3$=125/90=1.39 cm^2, A_3=19.5 cm^2

ε=0.9로 보정하고, $(A_3/14)$=15.4 cm^2, A_3=21.6 cm^2

⑦ 주탕받이의 단면적 A_0을 구한다.

우선 주입 초기의 주탕받이의 유속 v_0을 식 (8)으로 계산

$v_0=C_0\sqrt{2gH_0}=0.95\sqrt{2\times980\times9}$=126 cm/s

$A_0=q/v_0$=1750/126=13.9 cm^2 (d=4.2 cm)

이 수치는 ε에 의한 보정을 하지 않는다. 왜냐면 불연속 흐름의 식을 이용하고 있기 때문이다.

한편, 캐비티내 용탕레벨의 상승에 의해, 주탕받이 밑의 공동부가 없어지면 연속흐름이 되므로, 식 (3)을 이용한 수치

$v_1=C_1\sqrt{2g(H_t-H_2)}=0.89\sqrt{2g\times(19-6)}$=142 cm/s

에 의해 A_1을 구하면

$A_1=q/v_1$=1750/142=12.3 cm^2

ε로 보정하고, 12.3/0.9=13.6 cm^2 (d≒4.2 cm)

식 (3)이나 식 (10)이나 거의 같은 수치를 얻는다.

⑧ 종탕도조임의 유속 v_1' 및 그 단면적 A_1'

$v_1'=\sqrt{2g(11+H_2-H_2')}$

$=0.89\sqrt{2\times980\times11}$=131 cm/s

A_1'= 1750/131=13.4 cm^2

ε로 보정하여 13.4/0.9=14.8 cm^2(d≒4.3 cm)

⑨ 제1탕도의 유속 v2에서, 탕도단면 A_2을 구한다.

v_2=22/0.5=44 cm/s A_2=1750/44=40 cm^2

ε로 보정하는 경우는 A_2=4.0/0.9=44 cm^2

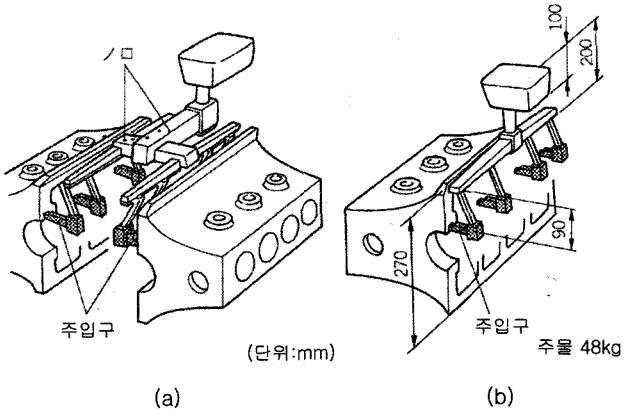


그림 1-34. 모래파임비율에 차가 생긴 실린더블록 탕구방안 예

8.4 2개 취한 소형 실린더블록의 탕구방안

[문제] 그림 1-34에 나타내는 회주철 소형실린더블록의 탕구방안 중 (a)의 2개 취한 방안에 대해서, 밑의 조건에 의해 탕구방안을 결정하라.

개요: 중자는 어느 것이나 중공중자이다. (a)는 2개 취한 방안으로 역경사탕구이다.

결함: (b)의 1개 취한 방안을 (a)의 2개취한 방안에 변경했을 때에 양자는 "모래파임" 결함의 발생을 비교했다. 모래파임 불량율은 (a)는 (b)보다도 적었다. 그 이유로서는 (b)에서는 탕구저로 부터 최초의 수직탕도까지의 거리가 약간 짧은 것, (b)는 부상분리의 기회가 1회인 것에 대해서 (a)는 탕구로 부터 차례로 제1탕도, 제2탕도, 제3탕도의 3회의 기회가 있는 것, 등에 의한 영향이라고 추찰된다.

탕구방안결정에 있어서 다음의 점을 고려했다.

① 제1, 제2, 제3탕도에는 어느 것이나 주입구가 붙어있지 않으므로, 탕도의 헤드 H_2는 자유로이 고른다. 제1탕도의 H_2를 10 cm로 했다. 제3탕도에 흐르기까지 2회의 곡선이 있으므로, 그 손실을 1 cm로 간주하고, 제3탕도의 H_2를 9 cm로 추정했다.

② 수직탕도는, 제3탕도의 측면에 붙였다. 중앙에는 수직탕도를 붙이지 않았다. 처음 흐를 때의 탕 전방의 용탕이 캐비티에 유입하는 것을 피하기 위해서 이다.

③ 주입구와 수직탕도저와의 사이에도 짧은 탕도를 붙여서 주입구를 짧게 하고, 액체시의 수축에 의한 수축의 발생을 방지했다.

[계산]

① 주입중량 W_p 및 주입체적 V_p의 계산

주입중량 W_0=48 kg, 2개 취해서 96 kg. 주방율 η=0.75로서 주입중량 W_p를 구한다.

주입중량 $W_p=W_p/\eta=96/0.75=128$ kg

주입체적 V_p: $V_p=W_p/\rho=128/6.1 \fallingdotseq 21.0$ L (=2100 cm^3)

용탕의 밀도 ρ=6.1 kg/L은, 약 1673 K(1400°C)의 용탕의 수치로서 유럽에서 이용되고 있는 수치

② 적절한 주입시간 t_p을 정한다. t_p=18초로 한다.

③ 탕구, 탕도, 주입구의 유량계산

탕구의 유량 $q=V_p/t_p=21.0/18=1.17$ L/s(=1170 cm^3/s), 이하 q=1200 cm^3/s로서 계산한다.

탕구, 탕도의 유량 및 각 주입구의 유량을 그림 1-35(a)에 나타냈다.

중앙에 주입구를 붙이지 않으므로, 내측의 주입구에서는 180 cm^3/s, 외측의 주입구에서는 120 cm^3/s 흐르도록 했다.

④ 탕도의 압력헤드 H_2를 결정한다.

제1탕도의 H_2=10 cm, 제3탕도에서는 9 cm로 하고, 주입구에 걸리는 헤드 H_2는 6 cm로 적게 골랐다. 주입구단면을 두텁게 하기 위해서이다.

⑤ 유효탕구높이에 의한 보정의 필요는 없다. 낙하주입구에 가깝다.

⑥ 주입구의 유속 v_3을 계산하고, 각 주입구의 단면적을 구한다.

$$v_3=C_3\sqrt{2gH_2}=0.83\sqrt{2\times 980\times 6}=90 \text{ cm/s}$$

외측의 주입구 1개의 단면적 $q_i/v_3=120/90=1.33$ cm^2

내측의 주입구 1개의 단면적 $q_i v_3=180/90=2.0$ cm^2

⑦ 주탕받이의 유속 v_0을 계산하고, 주탕받이의 단면적 A_0을 구한다.

$$v_0=C_0\sqrt{2g\times H_0}=0.95\sqrt{2\times 980\times 9}=133 \text{ cm/s}$$

$A_0=q/v_0=1200/133=9.04$ cm^2 (d=3.38 cm)

⑧ 탕도단면: 제1탕도의 단면적 A_2을 구한다. 유속 v_2= 30 cm/s로 한다.

$A_0=q/v_2=1200/30=40$ cm^2

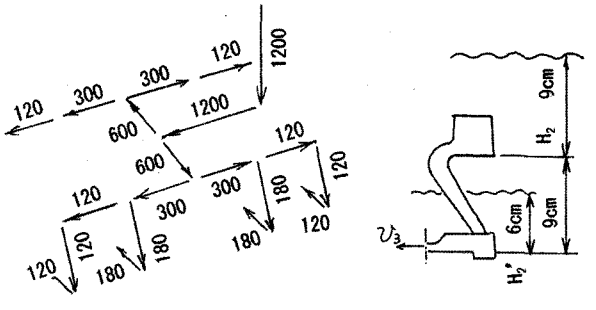
같이 해서 제2탕도 20 cm^2, 제3탕도 10 cm^2, 제3탕도는 말단까지 갈 만큼 차례로 좁게 한다.

수직탕도조임의 단면적 A_1: 수직탕도조임에 걸리는 헤드 차는, 제3탕도의 헤드 9 cm+수직탕도길이 9 cm로 부터 주입구에 걸리는 헤드 6 cm를 빼면 12 cm가 된다. 수직탕도조임의 유속 v_1는 $v_1=0.89\sqrt{2g\times 12}=136$ cm/s이므로

내측 $A_1=180/136=1.32$ cm^2

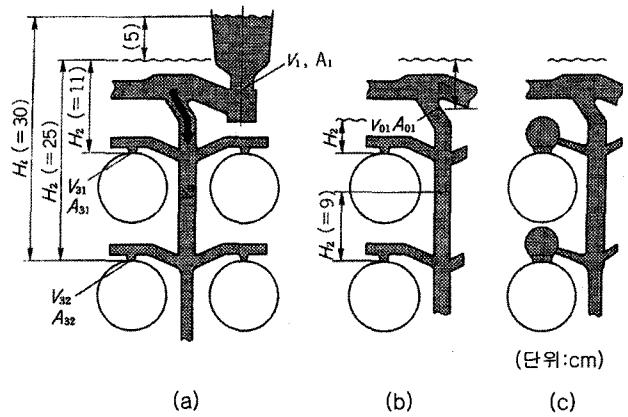
외측 $A_1=120/136=0.88$ cm^2

가 된다. 이 수직탕도로 부터의 1차 수축보급이 충분하지



(a) 각부의 유량　　(b) 수직탕도에 걸리는 압력헤드

그림 1-35. 2개 취한 엔진주물의 탕구방안



(a)　　(b)　　(c)

그림 1-36. 수직분할다수취한 주조방안의 일부분

않은 경우는, 수직탕도를 두껍게 하고, 조임부만 짧은 범위만을 조인다. 혹은 조임을 수직탕도 상부에 붙여, 수직탕도 전체를 두껍게 한다. 이때의 상부에 붙이는 조임의 단면적을 구하면

$v_1=C_1\sqrt{2gH_2}=0.89\sqrt{2\times980\times9}=118$ cm/s

이므로 조임의 단면적은 내측이 $A_1=180/118=1.52$ cm^2, 외측이 $120/118=1.02$ cm^{2}이 된다.

8.5 수직분할 다수개 취한 탕구방안

[문제]

본문의 탕구방안의 이론을 수직분할주형에 응용하고, 밑의 조건에 의한 방안에 대해서 주요단면적을 구하라.

개요: 그림 1-36는 종나눔주형의 탕구방안의 일부분을 그리고 있다. 주형은 1개 중량 2 kg의 주물이 1개의 수직탕도에 3단 6개, 부근의 수직탕도분과 병행해서 계12개를 주조하는 수직분할주형이다. 1상자당 주물중량 $W_0\times12$개$=24$ kg, 주입중량 $W_p=32$ kg, 주입체적 $V_p=32000/6.1=5250$ cm^3, 주물 1개당의 체적은 $2000/6.1=330$ cm^{3}이다. 주입시간 $t_p=10$초라고 가정한다.

[문1] 그림 1-36(a)에서 나타낸바와 같이, 상탕도의 압력헤드를, 주탕받이 액면으로 부터 5 cm의 레벨로 했을 때, 주탕받이 액면 밑 8 cm 부근에 있는 탕구조임의 유속 v_1, 및 그 단면적 A_1은 얼마로 하면 좋은가.

[문1의 해답] 탕구조임은 잠입주입구이라고 간주하므로, 탕구조임의 유속 v_1은, 조임의 위치가 약간 달라도, 헤드차 5 cm로 가속된다. 식 (3)을 사용해서 계산하면

$v_1=0.89\sqrt{2g\times5}=88$ cm/s가 된다.

유량q(=체적/주입시간)는 $q=5250/10=525$ cm^3/s이므로, 조임의 단면적 A_1은

$A_1=525/88=6.0$ cm^{2}이 된다.

[문2] 그림 1-36(a)에서, 상단 및 중단의 주입구가, 도시의 위치에 있다고 하고, 수직탕도에는 조임이 없고, 상, 중, 하단의 주입구로 부터, 각 주물이 동시에 9초간에 가득차도록 하고 싶다. 각각의 주입구 평균유속 및 단면적은 얼마가 되는가. 상단, 중단의 주입구에 대해서 구해보자.

[문2의 해답] 주입구의 유량 $q=330/9=37$ cm^3/s

상단 주입구의 유속

$v_3=0.83\sqrt{2gH_2}=0.83\sqrt{2\times980\times110}=122$ cm/s

상단 주입구의 단면적

$A_3=q/v_3=37/122=0.30$ cm^2

중단 주입구의 유속

$v_3=0.83\sqrt{2gH_2}=0.83\sqrt{2\times980\times25}=184$ cm/s

중단 주입구의 단면적

$A_3=q_i/v_3=37/184=0.00$ cm^2

[문3] 그림 1-36(b)에서는 수직탕도조임에 걸리는 헤드가 7 cm가 되는 위치에 수직탕도조임을 설치해서, 밑의 주물로 부터 차례로 각각의 주물에 대해서 약 3초 걸려서 유입하고 싶다. 수직탕도조임의 단면적 A_{01}을 얼마로 하면 좋은가, 또, 상단, 밑 중단의 주입구 단면적은 얼마로 하면 좋은가. 다만 상단의 H_2(주입구에 걸리는 압력헤드)는 6 cm로 잡고, 중단의 H_2는 9 cm로 잡는다

(그림의 (c)는, 압탕이 필요한 경우의 압탕이 취한 위치를 나타낸 것으로, 문제와는 관계없다.)

[문3의 해답] 수직탕도 양측의 2개의 주물을 3초에 주입하기 위해서는 조임의 유량 q_0는,

$q_0=(330\times2)/3=222$ cm^3/s

한편, 수직탕도조임에는 7 cm의 압력헤드가 걸리므로 수직탕도조임의 유속 v_{01}은

$v_{01}=0.89\sqrt{2g\times7}=104$ cm/s

따라서 조임의 단면적 A_{01}은

$A_{01}=q_0/v_{01}=110$ cm^3/s

주입구의 단면적 A_3을 구한다. 주입구의 유량: 상단 주입구, 중단 주입구 모두 $q=330/3=110$ cm^3/s

상단 주입구의 유속

$v_3=0.83\sqrt{2gH_2}=0.83\sqrt{2\times980\times6}=90$ cm/s

상단 주입구의 단면적

$A_{01}=q_0/v_3=110/90=1.2$ cm^2

중단 주입구의 유속

$v_3=0.83\sqrt{2gH_2}=0.83\sqrt{2\times980\times9}=110$ cm/s

중단 주입구의 단면적

$A_3=q/v_3=110/110=1.0$ cm^2

중단 주입구에 걸리는 H_2 수위를, 상, 중 주입구의 거의 중간 위치, 9 cm로 지정한 것에는 이유가 있다. 각 H_2 레벨을 낮게 설정해서, 주물을 3초에 가득차도록 하면, 주입구 단면적이 매우 크게 되어, 주입구제거가 귀찮게 된다. 반대로 중단 주입구의 H_2를 상단 주입구의 레벨부근에 높게 잡으면, 주입구 단면적은 작게 되지만, 중단의 주물을 채우고 있는 사이에 용탕이 상단의 주입구에 튀어 오를 위험이 있다. 상하의 중간에 잡으면 무난하다.