콤퓨터의 設計 및 게이팅시스팀內에서의 金屬流 에 관한 硏究

<2>

ST. John, G. Davis, G, Magny
〔캐나다金屬物理學硏究所 鑄造部〕

—承 前—

— 摩擦効果 —

圖面 2 (b)는 채택된 방법에 附加된 流入條件으로 위의 사항들을 변경한 전형적인 흐름의 상태를 표시하고 있다.

實質的인 사항은 先端뒤의 깊이는 거의 變動이 없음을 나타내고 있으나 한편 算定된 사항은 先端에 대한 金屬의 깊이는 계속해서 떨어지고 있음을 나타내 주고 있다. 이와같은 차의 원인은 모름지기 摩擦의 効果표면의 긴장상태 또는 表皮의 형태와 聯關性이 있을 것이다. 圖面 1에 표시되어 있는 흐름상태는 波紋先端에서의 흐름에 대한 큰 抵抗과 균형을 이루고 있다. 이와같은 사항은 金屬의 表皮 또는 칠은 일단 그것이 결정된 다음에는 흐름에 대한 摩擦抵抗을 상당히 감소시킨다는 것을 示唆하고 있다.

이 경우에 그 抵抗은 先端주위에서만 높고 先端뒤에서는 한결같이 낮은 抵抗値數를 유지하게 되는지 또는 그 抵抗은 液體가 流通장치를 흘러내려감에 따라서 점차로 떨어지는가하는 질문이 일어난다. 이 두가지의 가능성을 모두 點檢하였다. 즉, 前者의 것은 발견된 형태에 퍽 유사한 내용을 보여주었다. 발견된 先端効果는 첫번째의 조건으로서 先端의 조건에 부합되는 어떤 抵抗係數를 건조한 유통장치에 제공하므로써 그 모형이 작성되었다. 液體가 流通장치를 흘러내려 감에 따라서 抵抗係數는 보다 낮은 値數로 변경되었다. 이것은 앞의 波紋의 先端뒤의 모든 부분에 대한 "主"抵抗係數라고 일컬어지고 있다.

이것은 한편으로는 흐름에 대해서 작용하는 건조한 流通장치와 또다른 한편으로는 보다 非効果的인 방법이긴 하나 흐름에 抵抗하는 습기찬 流通장치에 부응하고 있었다. 圖面 2 (c)는 先端에서 0.09 그리고 主流에 대해서 0.011의 抵抗係數를 갖는 산출된 皮紋의 상태를 표시하고 있다.

이 形狀은 圖面 1(a)가 보여주고 있는 실험적인 形狀과 훌륭한 조화를 이루고 있다.
圖面 3 및 圖面 4는 두개의 注入속도를 기준으로 流入형상에 관한 主抵抗係數의 効果를 例示하고 있다.

모든 산정된 형상을 위하여 主抵抗係數 및 先端抵抗係數가 시행착오를 거쳐서 실험한 流入形狀에 가장 적합하도록 선택되었다.

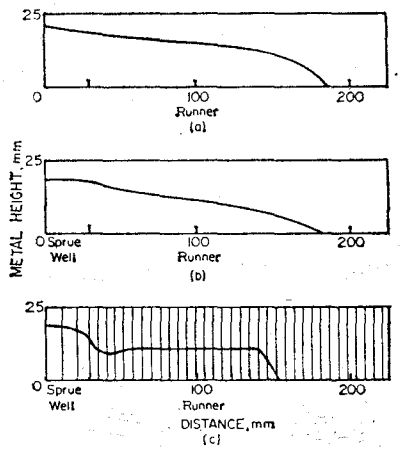

Fig. 2. Liquid metal profiles given at three stages in the development of the computer model. (a) Profile for an inflow of 42 $cm^3 s^{-1}$ into the first element, after 1.28 s of flow. Flow resistance coefficient 0.07. (b) Profile for an inflow of 65 $cm^3 s^{-1}$ into the first three elements, after 0.80 s of flow. The inflow direction was 90° to the *x*-direction. Flow resistance coefficient 0.04. (c) Profile for an inflow rate of 93 $cm^3 s^{-1}$ after 0.55 s of flow. Similar inflow boundary conditions to case (b). Wave tip flow resistance coefficient 0.09, main flow resistance coefficient 0.011. A typical network of elements has been superimposed.

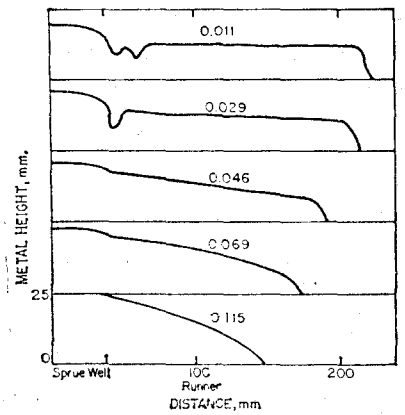

Fig. 3. The effect on the flow profile of changing the main flow resistance coefficient. Tip coefficient 0.12, main coefficients given on each curve. Inflow 89 $cm^3 s^{-1}$, time 0.73 s.

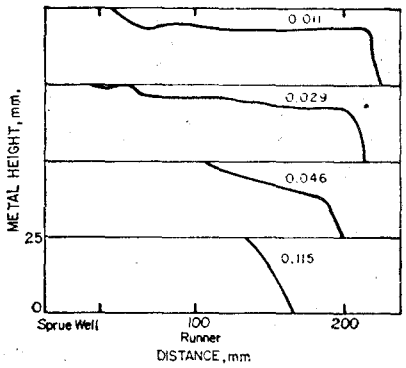

Fig. 4. The effect on the flow profile of changing the main flow resistance coefficient. Tip coefficient 0.12, main coefficients given on each curve. Inflow 220 $cm^3 s^{-1}$, time 0.55 s.

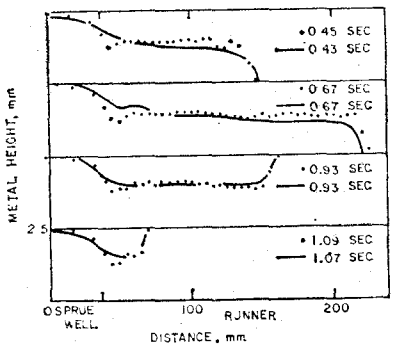

Fig. 6. Comparison of observed profiles from Fig. 1 (full line) and computed profiles (dotted). Flow resistance coefficients: 0.12 at the tip, 0.015 for the main flow.

— 最高品位表面과 端末表面 —

건조 床板에 대한 맵 遮斷문제해결법은 流通장치의 주변조건들을 처리할 수 있도록 부득이 수정하지 않을 수 없었다. 源泉的인 최초의 방법에서는 物理的인 장애물 때문에 流通장치의 最高部位 또는 端末表面으로 流入시키지 않아도 상관이 없었다. 유통장치의 端末까지 流入시키

기 위해서는 마지막 교차점으로 부터의 流入을 통제하기로 되어있는 물리 및 모인의 方法에서는 限界點은 f_0가 零일 경우에 제로流出을 제공하였다. 흐름은 마지막部分을 통해서 계속되지를 않고 反發되었으며 또한 두번째의 물결은 流通장치의 端末部分으로부터 되돌아서 흘렀다.

最高部位에 대한 模型을 작성하는 것이 보다 어려웠다. 장애물이 없는 表面을 위하여 方程式을 도출하였다. 上部를 향한 흐름에 대한 장애요소는 단순히 쎄인트 베넌트方程式에 내포시킬 수 없었다. 이와같은 장치를 위한 幾何學에 근거한 方法이 도입되었다. 이 方法에서는 內容이 꽉 찬 部分들은 算出에서 제외시켰다. 이와같은 方法은 오류를 자아냈다. 왜냐하면 이 部分들은 그것이 제거되기 前에 流通장치보다도 깊게 그 속이 찾기 때문이다. 이와같은 部分이 제거될 때 마다 一定量의 液體가 손실되었으며 (圖面 5 참조) 그로 말미암아 滿載量이 낮게 豫測된 결과를 초래했다. 이와같은 결함을 극복하기 위하여 소정의 技能을 세분화하는 方法이 採擇되었다. 이 方法에 의하여 손실된 量이 회복되었다. 즉, 손실된 量을 生產하기 위하여 必要한 흐름을 위한 소정시간보다 많은 시간에 算出된 흐름을 위한 시간에서 공제되었다.

圖面 1은 해당 장치에 대해서 위에서 언급한 것과 같은 수정을 가한후 算出된 圖面 I의 흐름을 위한 조건에 부합되는 表面현상을 제시하고 있다.

先端과 主流의 抵抵係數는 각각 0.12 및 0.015로서 算出된 것과 실험관측으로 얻은 형상은 퍽 훌륭하게 같은 양상을 제시했다.

— 추가된 게이트 —

게이트模型설계는 하나의 流通장치를 위한 算出은 각 소정시간 단계마다 n번씩 이행될 것을 必要로 하고 있다는 게이트 數를 나타내고 있다.

그 후에 流通장치로 흘러내려가는 흐름을 설계 할 수 있으며 또한 그 설계는 게이트를 통해서 각게이트에 대한 流入量을 제시하고 있다. 아무러한 장애물이 없는 表面에 대한 方程式은 各各 다른 流入量을 예측하기 위해서는 이용할 수 없다. 왜냐하면 그것은 흐름에 대한 장애물을 인정하지 않았기 때문이다. 複合 게이트를 통한 각기 다른 흐름의 量을 算出하기 위해서는 설계를 流通장치가 꽉찼을 경우에는 閉鎖된 흐름을 위해서 다른 장치로 변경해야 한다.

이와 같은 작업은 單一게이트에만 국한되었다.

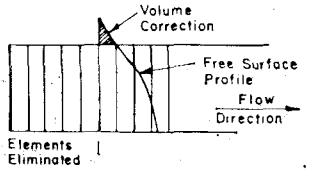

Fig. 5. Illustration of "lost" volume given by successive elimination of filled elements.

流通장치의 최상부를 통과하는 게이트 내에서는 流入조건은 流通장치를 위한 조건과 恰似하였으며 또한 흐름은 恰似한 方法으로 模型을 設計할 수 있었다. 流通장치의 側方 또는 底邊을 통과하는 게이트의 모형설계는 시도되지 않았다.

모래鑄型 내에서 溶解된 金屬의 흐름에 대한 실험 관측

節 次

탕구를 갖춘 單一流通장치와 湯口空은 주조되었으며 또한 흐르는 溶解된 金屬의 外形이 X-레이 螢光放電 기재를 이용해서 다음과 같은 方法으로 관측되었다. 水平的인 X-레이光線이 湯口와 流通장치에 垂直的인 方向에서 주물방향으로 비쳤다. 이 주형들은 流通장치의 양쪽에 약 25 mm의 모래가 있는 나트륨 珪酸鹽接合砂로 만들어졌다. 이 주형뒤에 위치한 螢光影像은 TV카메라도 면밀히 檢討하였으며, 또한 映像은 비데오테프와 16미리 영화에 기록되었다.

映畵필림으로부터 많은 사진들을 찍어서 복사

재생하였다. X-레이 螢光요령에 대한 상세한내용이 [1]에 수록되어 있다.

두개의 合金이 상세하게 研究 檢討되었다. 즉 통상적으로 1,400°C의 温度에서 注入되는 鑄鐵과 또 하나는 통상적으로 710°C의 温度에서 注入되는 A1—5% Zn이 그 研究의 대상이었다.

순수한 炭素綱으로 注入되는 몇개의 鑄型은鑄鐵의 경우와 유사한 흐름의 特性을 보여주고 있었다.

게이팅조직의 전형적인 규모와 내용이 圖面 7에서 表示되고 있다.

표준流通장치는 길이가 20mm, 높이가 25mm 그리고 넓이가 25mm였다. 湯口는 錘形을 이루고 있었다. 이것은 底面의 규모가 8.0 또는 12.7 mm 그리고 높이가 150 또는 75mm였으며 이것은 注入方向을 설정하기 위한 方法이었다.

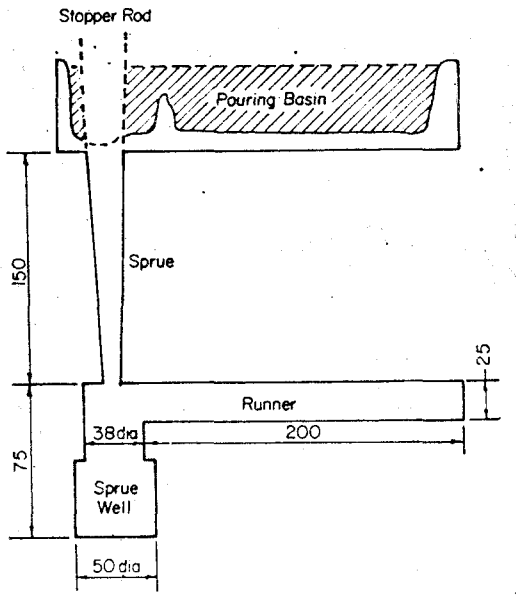

Fig. 7. The gating system used for X-ray fluorescence studies. Dimensions in millimetres

Changes in metal head during flow. It was plugged by a stopper while being filled, to reduce variations in flow rate created by hand pouring The system gave consistent pour rates.

水平的인 流通장치 내에서의 흐름

—일반적인 實驗 관측사항—

注入속도에 관한 研究는 그 형태를 대상으로 하였다. 즉, 첫번째는 80 내지 115cm³S⁻¹에서 주입되는 상태와 두번째는 150 내지 250cm³S⁻¹ 상태에서 주입되는 경우였다. 첫번째의 형태는 그 속도가 퍽 느렸으며, 퍽 圓滑한 흐름의 特性을 나타냈다.

이 경우에는 처음의 흐름의 先端은 流通 장히 내로 흘러들어가 유통장치의 半이 못 미치는 용

소규모의 湯口장치를 이용해서 注入해본 결과 여러모의 流入속도를 나타냈으며 이것은 實驗 관측된 流入특성과 算出된 流入特性을 비교하기 어려운 狀況을 제시했다. 採擇된 마지막 方法은 湯口底面을 통한 流入속도는 용해된 金屬이 流通장치로 흘러들어가기 시작하기 전에 확고한 値數를 나타내고 있는 탕구를 통한 유출속도를 확보하기 위하여 보다 큰 규모의 탕구장치를 이용했다.

流通하는 과정에서 溶解된 金屬元端의 변동상태를 最小限으로 줄이기 위해서 注入底面은 넓은 것을 사용했다. 이 장치는 금속액이 유입되고 있는 도중에 마개로 막았다. 이것을 손으로 注入함으로 말미암아 일어나는 流入속도가 여러모로 변화하는 상태를 줄이기 위한 것이었다.

이 方法은 一定한 注入속도를 제시했다.

적을 차게했다. 흐름의 先端이 유통장치의 端末에 이르렀을 때에는 速流가 형성되었으며, 이것은 유통장치내를 한결 같이 흘러서 유통장치 높이의 0.8이 되는 部分까지 채웠다. 그후에 두번째의 흐름이 움직이기 시작하여 유통장치 내를 흘러 나머지 부분을 채웠다.

두번째의 형태에서는 150 내지 250cm^3S^{-1}의 속도로 注入되었으며 두번째의 前面流入은 없었다. 처음의 흐름의 先端은 높은 속도로 流通장치내를 흘러내렸으며 이것이 端末에 이르렀을때에는 용해된 金屬은 끝에 있는 壁에 닿아 마침내 가장 높은 표면을 때린후에 反發작용을 일으켰다. 뒤이어 逆流가 급속히 형성되어 나머지流通장치 내의 공간을 채웠으며 통상적으로 이 逆流는 유통장치의 대부분의 공간을 이동했다. 이 두 가지 형태의 경우에는 동일한 흐름상태에 대한 파문의 형태에는 다소의 차이가 있었으나 흐름의 全般的인 양식은 동일하였다.

主抵抗係數와 先端抵抗係數를 적절하게 선택하므로서 사실상의 흐름의 형상이 算出된 형상과 조화를 이룰 수 있다. 즉, 흐르는 동안 한결같이 그 형상과 先端의 위치가 동일하다. 圖面 8과 圖面 9는 鑄鐵에 대한 주요한 사례를 표시하고 있으며 한편 圖面 10은 A1-S% Zn 合金에 대한 주요한 사례를 例示하고 있다.

點線은 깊이 y에 대한 値數이며 이것은 설계에 의해서 제시된 시간과 설정된 교차점에서 장치에 의해서 예칙된 것이다. 劃一線은 實驗관측된 형상을 나타내주고 있으며 그 점에 이르기까지에 필요한 비데오 필름영상의 수에 의해서 해당되는 回數가 算出되었다.

해당 映像상호간의 時間간격은 1秒의 1/60이었다. 비교하기 위해서 선택된 映像은 산출된형상을 위한 것에 가장 가까운 시간에 관련된 것이었다.

흐름의 主抵抗係數와 先端抵抗係數의 試驗値數를 위해서 산출된 형상과 제시된 실험적인 흐름의 형상을 비교한 결과 시행착오를 거쳐 다음과 같은 정확도를 확보할수 있음을 발견하였다.

즉, 0.020 또는 그 이상 치수에 대한 主저항계수는 約 ±0.002로 결정할 수 있었다. 主抵抗係數의 値가 0 020이하인 경우에는 그 正確度는 約 ±0.005로 불안한 상태로 하락한다. 0.05 내지 0.20에 이르는 先端係數는 約 ±0.02로 결정할 수 있었다. 確保할 수 있는 正確度의 관점에서 主抵抗係數는 小數點이하 3單位 그리고 先端係數는 小數點이하 2單位가 제시되었다는 등등의 사항이다.

算出된 형상과 실질적인 형상을 비교하는 경우 때때로 다소의 결함이 발견되었다. 이 경우에 산출된 형상은 液體가 湯口장치위에 있는 液體의 柱狀으로 떨어져 나온 후에 약간의 경사현상을 나타내고 있었다. 이와 같은 사항은 圖面 16(b)와 圖面 3의 上部에 있는 2개의 回線에서 어김없이 엿볼 수 있다. 이와 같은 경사현상이 일어난 후에 液體의 깊이는 높아지고 波紋先端가까이까지 그 상태를 남아 있었다.

사실상 흐름 도중 다소의 경사 현상은 분명히 일어났었다. 이것이 아마도 실질적인 효과일 것이다.

또한 湯口로부터 떨어지는 液體는 부분적으로 경사부면을 충당하는 효과를 가질수 있었다. 이와 같은 차이점을 제외하고는 算出한 형상은 실험 관측된 형상과 조화된 비교상태를 나타내 주고 있었다.

만일 현행의 模型設計法이 제시된 鑄造狀況아래에서 흐름의 類型을 예측하기 위해서 유용한 것이라면은 동일한 狀況아래서 注入된 유사한鑄型은 모름지기 一定해야 한다. 있을 수 있는 흐름의 어떤 변화상태를 실험 관측하기 위해서는 圖面 9에 수록된 結果를 생성시키는 狀況들이 3개의 앞으로의 流入方法을 위해서 사용되었다.

3개의 흐름을 실험한 결과는 다음과 같다.

즉, 流通장치를 채우기 위해서 所要된 시간은 2개의 흐름의 경우에는 0.733s였으며 나머지 한 흐름의 경우에는 0.767이었다. 흐름에 대한 主

抵抗係數 및 先端抵抗係數는 해당흐름에 대해서 각각 0.011, 0.12, 0.011, 0.09 零 그리고 0.09 였다. 主抵抗係數의 경우 零과 0.011 간에는 흐름의 특성에는 거의 차이가 없었다. 全能的인 흐름의 樣相은 동일하였으며, 또한 流通장치는 흐름마다 거의 같은 狀況에서 공간이 끝까지 꽉 찼다.

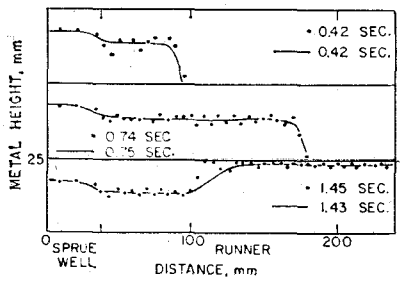

Fig. 8. Observed (full line) and computed (dotted) profiles of molten metal in a runner. Alloy: cast iron. Pour rate: 86 $cm^3 s^{-1}$. Pour temperature: 1400 °C. Flow resistance coefficients: 0.15 at the tip, 0.011 for the main flow.

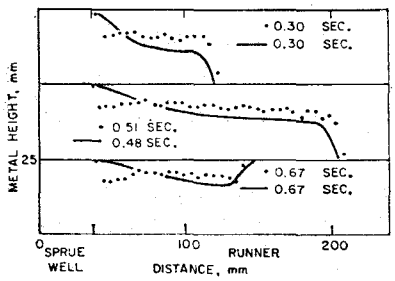

Fig. 9. Observed (full line) and computed (dotted) profiles of molten metal in a runner. Alloy: cast iron. Pour rate: 220 $cm^3 s^{-1}$. Pour temperature 1400 °C. Flow resistance coefficients: 0.09 at the tip, 0.011 for the main flow.

—注入溫度와 注入속도의 効果—

690, 710, 및 750°C에서 주입되는 Al-5%Zn 合金과 1250, 1300, 1400 및 1500°C에서 주입되는 鑄鐵을 위해서는 동일한 注入法과 유사한 鑄型은 이용해서 一連의 流入실험을 하였다. 圖表 1은 관측된 狀況과 算出된 狀況상호간에 가장 훌륭하게 어울리는 결과로 나타나는 主抵抗係數와 先端抵抗係數를 보여주고 있다. 複合流入의 경우를 위해서는 平均値數를 제시하고 있다.

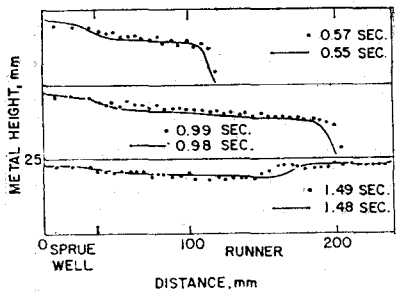

Fig. 10. Observed (full line) and computed (dotted) profiles of molten metal in a runner. Alloy: Al-5%Zn. Pour rate: 90 $cm^3 s^{-1}$. Pour temperature 710 °C. Flow resistance coefficients: 0.18 at the tip, 0.045 for the main flow.

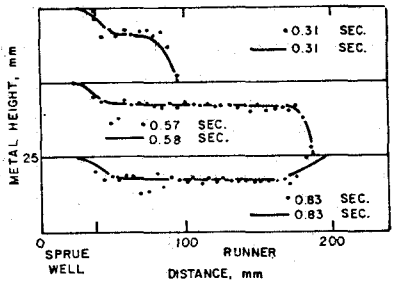

Fig. 11. Observed (full line) and computed (dotted) profiles of molten metal in a runner. Alloy: Al-5%Zn. Pour rate: 157 $cm^3 s^{-1}$. Pour temperature 710 °C. Flow resistance coefficients: 0.15 at the tip, 0.011 for the main flow.

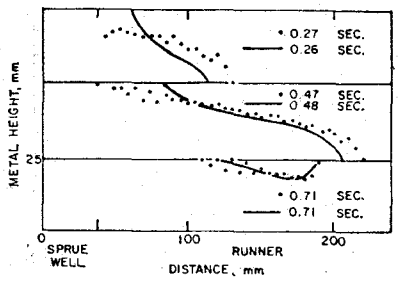

Fig. 12. Observed (full line) and computed (dotted) profiles of molten metal in a runner. Alloy: Al-5%Zn. Pour rate: 220 $cm^3 s^{-1}$. Pour temperature 710 °C. Flow resistance coefficients: 0.06 at the tip, 0.034 for the main flow.

鑄鐵의 경우에는 先端抵抗係數는 동일한 溫度하에서 사실상 변동되지 않은 상태에서 머무르고 있었다. 한편 主抵抗係數는 溫度가 높아짐에 따라서 감소되고 있었다. 이것은 溫度가 높아짐에 따라 流動量이 높아진다는 것을 示唆하고 있

다. A1-5% Zn 合金을 위한 流動抵抗係數는 注入温度에 따라서 또다른 양상으로 변화함을 표시해주고 있다. 注入温度가 690으로부터 750°C로 증가하는 경우에 主抵抗係數는 約 0.025선에 남아 있었다.

한편 先端抵抗係數는 어김없이 0.09 내지 0.06까지 감소함을 나타냈다.

그러나 관측된 흐름의 형상을 측정하는 경우 그 正確度가 그러하였으므로 모든 温度하에서 0.07의 先端抵抗係數는 측정된 것과 잘 부합되고 있었다.

流入속도를 낮추게 되면은 이 두 가지 合金의 경우 모두 先端抵抗係數가 올라가고 있었다. 아마도 보다 빠른 유통속도 하에서는 先端에 형성된 酸化物層을 보다 손쉽게 압도할 수 있으며 또한 또 다른 새로운 層을 형성하는 시간을 단축시키는 추축된다. 주저항係數는 鑄鐵의 경우 流動속도와는 거의 상관이 없었다. 그러나 A1-5% Zn 合金의 경우에는 보다 낮은 유동속도 하에서 增加하는 現狀을 보였다.

—流通장치 규모의 效果—

여러 다른 규모의 流通장치 내에서의 흐름을 예측할 수 있는 장치의 기능을 檢討하기 위해서 液體를 유통시켰다. 25mm의 깊이 대신에 12.5 mm의 깊이를 갖고있는 보다 적은 규모의 流通장치에 유사한 속도로 鑄鐵을 주입시켰다.

지난번에는 (a) 約 100cm^3S^{-1}의 속도와 그리고 (b) 150 내지 250cm^3S^{-1}의 속도로 두 번이나 液體를 유통시켰었다. 남은 공간은 두번째의 液流로 채웠다. 이 液體는 湯反장치까지 거의 한결같이 逆流하였다. 이같은 樣想은 圖面 13이 보여주는 바와 같은 模型에 의해 예측되었다.

그 다음으로 보다 큰 규모의 流通장치 내에서의 液體의 흐름을 檢討하였다. 50mm平方의 유통장치를 갖춘 鑄型에는 鑄鐵을 可能한 限 빨리 주입되었다.

流通장치는 첫번째의 注入量으로는 공간이 차지를 않았다. 흐름의 속도는 X-레아의 映像에 의해서 算出되었으며 그 속도는 400내의 500cm^3S^{-1}의 値數를 갖고 있었다. 이것은 約 220cm^3S^{-1}인 보다 높은 속도로 液體가 주입된 25mm平方의 유통장치의 경우와 꼭 같은 순서로 金屬液體의 속도를 제시하였다. 이 實驗結果는 0.09의 先端抵抗係數와 0.011의 主抵抗係數를 가진 흐름의 形狀을 밝히고 있었다. 이것은 25mm平方의 유통장치내에서의 경우 유사한 値數였으며 抵抗係數는 유통장치의 넓이에 의해서 변하지는 않는다.

이와같은 實驗計劃은 아무러한 장애물이 없는 上位部表面을 갖춘 푸리즘으로 分解된 통로내에서의 흐름의 문제를 해결하기 위하여 마련되었다. 圓形의 交叉點이 있는 流通장치를 통과하는 金屬液體의 흐름의 형상을 예측하기 위하여 흐름의 幾何學的 의미를 설정하는 실험 내용의 일부를 변경할 필요를 느꼈다. 그러나 液體의 深層이 유통장치의 정점에 接近해 올때 表面은 별안간 零點으로 하락하였다.

〈圖表 1〉 鑄鐵 및 A1-5%Zn 合金에 대한 先端 및 主抵抗係數値의 종합도표

물질	注入温度(°C)	注入속도범위 (cm^3S^{-1})	注入속도범위 (kgS^{3-1})	主抵抗	흐름에 대한 抵抗係數 先端
鑄鐵	1250	80-100	0.54-0.67	合金凍結	合金凍結
		210-240	1.4-1.6	0.027	0.09
	1300	80-100	0.54-0.67	0.030	0.15
		210-240	1.4-1.6	0.027	0.07
	1400	80-100	0.54-0.67	0.007	0.13
		210-240	1.4-1.6	0.016	0.09
	1500	80-100	0.54-0.67	0.000	0.14
		210-240	1.4-1.6	0.000	0.09
AI-5% Zn	690	210-240	0.54-0.62	0.023	0 09
	710	80-100	0.21-0.26	0.045	0.18
		210-240	0.54-0.62	0.027	0.07
	750	210-240	0.54-0.62	0.023	0.06

—계속—