

게이트 형상이 결정입 제어 소재의 미세조직에 미치는 영향

정용식* · 배정운* · 서판기* · 강충길**

The Effect of the Gate Shape on the Controlled Material the Microstructure of Grain Size

Y. S. Jung, P. K. Seo and C. G. Kang

Abstract

In the semi-solid die casting process, the important thing is the flow behaviors of semi-solid material. The flow patterns of semi-solid material can make the defects during die filling. To control of the flow patterns is very important and difficult. In this paper, the flow behaviors of the semi-solid A356 alloy material during die filling at various die gate shapes has been observed with the grain size controlled material. The effects of the gate shape on the die filling characteristics were investigated. The filling tests in each plunger strokes were experimented, also simulated on the semi-solid material die casting process by MAGMASoft. According to the filling tests and computer simulation, the effect of the gate shape on liquid segregation had been investigated.

Key Words : Semi-Solid Die Cating, Gate Shape, Flow Behavior, Liquid Segregation, Die Filling Test, Microstructure

1. 서 론

반용융 다이캐스팅과 같은 가압 사출방식을 이용한 제품 성형 공정에서 관심의 대상이 되어온 연구 내용 중 하나는 금형 내에 충전되는 용탕의 유동을 임의로 제어하는 것이다. 용탕이 충전되는 경향에 따라 제품 내부에 존재하는 공기의 포집과 같은 결함이 존재하게 된다. 대부분의 다이캐스팅 공정에서 일반적인 사출 속도는 0.3 ~ 0.5m/s 정도로 제한적으로 적용되고 있다.^{[1],[2]} 이런 저속은 사출 중 용탕의 흐름을 층류와 같은 유동으로 제어가 가능하지만 충전에 오랜 시간을 필요로 하기 때문에 제품의 생산성을 저하시키는 경향이 있다.^[3]

반용융 다이캐스팅 공정에 있어서 일정한 사출 속도에서 금형 캐비티 내에 소재를 충전 시키는

소재의 유변학적 거동은 소재가 제품부를 충전 후 생성 될 수 있는 여러 가지 불량 요소에 많은 영향을 미치게 된다. 일정한 제품부의 형상 하에서 반용융 소재가 충전 되는 게이트의 형상은 소재의 충전 속도 및 충전 양상에 영향을 미치게 된다. 이러한 게이트의 형상은 반용융 다이캐스팅 금형 설계에 있어서 아주 중요한 역할을 한다.^{[4],[5]}

본 연구는 반용융 금속이 금형에 충전되는 동안 유변학적 거동이 금형의 게이트 형상 변화에 따라서 어떻게 영향을 받게 되는지 실험을 통하여 미세조직과 유동사이의 관계를 규명하고자 한다. 또한, 반용융 다이캐스팅 금형 설계를 위한 컴퓨터 시뮬레이션을 하고자 한다. 게이트의 형상 변화로 인하여 나타나는 유동 현상이 부품부의 고액상의 분리로 인한 편석 발생에 미치는 영향을 미세조직 관찰을 통하여 분석하고자 한다.

* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

** 부산대학교 기계공학부

이를 토대로 향후 반응용 다이캐스팅 금형 설계에 있어서 금속의 유동을 제어하고 금형 설계에 있어서 방향을 제시하고자 한다.

2. 실험 및 결과

2.1 실험방법

실험에 사용된 소재는 A356 을 사용하였다. 반응용 소재의 고상율은 $50 \pm 2\%$ 인 조건에서 반응용 다이캐스팅 실험을 실시하였다.

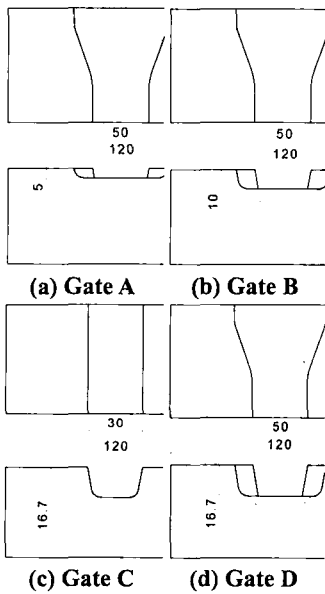


Fig. 1 The dimension of each gate system

사출 성형 중 게이트의 형상에 따른 충전 양상을 파악하기 위하여 동일한 제품형상에 게이트의 형상을 변화시킬 수 있도록 금형을 제작하였다. 교체 가능한 게이트의 치수 및 형상은 Fig. 1 과 같다. Table 1 은 제작한 네 개의 게이트의 치수 및 게이트의 단면적을 나타낸 것이다. 게이트 A, B 와 D 는 동일한 폭에 두께를 변화시킨 형태로 제작되었다. 게이트 C 는 게이트 B 와 거의 동일한 단면적을 가지나 게이트의 형상이 다른 형태로 제작되었다.

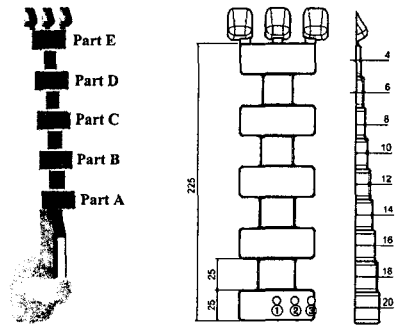
사출 성형 중 게이트 형상이 충전 현상에 미치는 영향을 파악하기 위하여 Fig. 2 (a)와 같은 형태의 시험편을 설계하였다. Fig. 2 (b)는 설계 및 제작된 시험편의 치수를 나타내고 있다. Fig. 2 에

Table 1 The dimension of various gating systems

Gate	Width (mm)	Thickness (mm)	Area (mm ²)
A	50	5	250
B	50	10	500
C	30	16.7	501
D	50	16.7	835

서 보여주고 있는 바와 같이 시험편의 두께는 20mm 에서 4mm 까지 줄어드는 형태를 지닌다. Fig. 2 (b)는 충진이 일어난 후 각 Part 의 미세조직 관찰을 위하여 ①, ②, ③ 위치를 설정하였다.

각각의 게이트에 따른 플런저의 충전 속도는 모두 동일하게 캐비티 내에서 0.3m/s 로 하였다. 반응용 소재가 캐비티 내에 완전히 충진이 이루어진 후 플런저는 충진이 일어난 소재를 1000bar 로 가압력 하였다.



(a) Test piece shape (b) Test piece dimension

Fig. 2 The shape and dimension of test piece part

2.2 충전실험

고상율 0.5 에서 충전 실험을 실시하여 게이트 별로 충전 거동을 알아보기 위하여 플런저의 행정거리가 각각 420mm, 430mm, 435mm, 440mm, 450mm 일 때 충전실험을 실시한 결과는 Fig. 3 와 같다. Fig. 3 (a), (b) 와 (d)는 동일한 게이트 폭에서 높이가 증가하는 게이트 조건에서의 충전 거동을 나타내고 있다. 게이트 높이는 각각 5mm, 10mm, 16.7mm 이다. 플런저의 행정거리가 420mm (a)의 경우, 게이트 D 의 경우 게이트 A 와 B 보다 충전 거리가 증가한 것을 알 수 있다. 게이트 A 보다

게이트 B의 경우에서 반응용 소재의 순차적 충전이 나타나고 있다는 것을 확인할 수 있다. 두께가 가장 두꺼운 게이트 D에서는 순차적 충전이 더욱 잘 나타나고 있다. 이는 게이트의 두께가 두꺼운 경우 반응용 소재의 충전 속도가 느리기 때문에 캐비티 내에서 순차적으로 충전이 이루어짐을 의미한다.

Fig. 3 (b), (c)는 게이트의 단면적은 동일하지만 형상에 따른 변화를 알아보기 위한 실험 결과이다. 게이트 C는 폭이 30mm, 높이 16.7mm인 크기로 제작하였다. 게이트 B는 폭이 50mm, 높이 10mm이다. 폭이 좁은 게이트 C의 경우는 게이트 B와 비교하여 충전 양상이 다르게 나타나고 있다는 것을 알 수 있다. 게이트 C는 게이트 B와는 다르게 충전이 순차적으로 나타나는 것이 아니라 유동의 거리가 증가하여 나타났다. 이는 게이트 C가 게이트 B보다 캐비티 부와 많은 면적을 접촉하고 있기 때문이다.

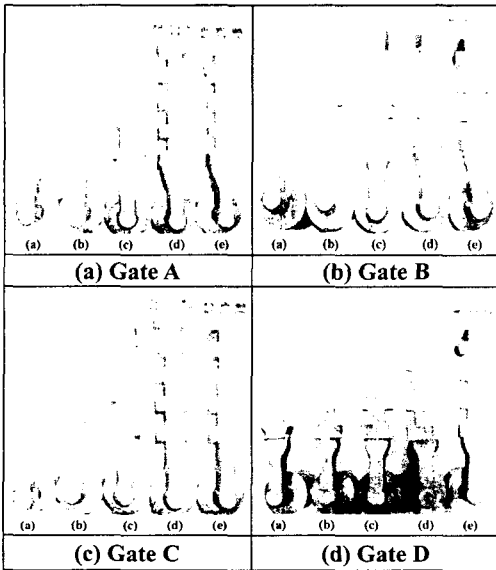


Fig. 3 The photograph of specimen part after filling test in each gate

2.3 미세조직

Fig. 4는 게이트 형상의 변화에 따라서 충전 실험을 실시한 후 Fig. 2 (a)에 나타난 바와 같이 캐비티의 충전이 시작되는 부위인 Part A부의 미세조직 사진을 나타낸 것이다. 시험편의 각각의 미세조직 사진 관찰 부위를 Fig. 2 (b)와 같이 나타내

었다. 게이트 A, B와 C의 경우 캐비티의 충전이 시작되는 부위인 ①의 경우 액상편석이 현저하게 증가됨을 알 수 있다. 그러나 게이트 D의 경우 다른 게이트 형상과는 달리 액상 편석의 분포가 현저하게 적음을 알 수 있다. 위의 원인은 유동 속도의 감소로 인하여 편석의 분리 현상이 적게 나타났기 때문이다. 또한, 게이트 A, B와 C의 경우 시험편의 중앙 부위에서 금형의 표면 부위로 갈수록 액상편석의 분포가 감소하는 것을 알 수 있다. 이런 현상은 캐비티의 형상이 변함에 따라 소재의 유동 속도가 줄어들게 되어 소재가 속도 영향을 적게 받게 때문이다.

Gate	Position		
	①	②	③
Shape			
A			
B			
C			
D			

Fig. 4 The microstructure phenomena for variation of gate shape at the filling entrance part A of Fig. 5

Fig. 5은 시험편의 마지막 끝부분에 위치한 Part E 부위의 미세 조직 사진을 나타낸 것이다. Part E는 캐비티의 마지막 부위로 충전 중 소재의 유동이 다른 부위에 비하여 늦게 이루어지는 부위이다. 게이트 A, B와 D의 경우 Fig. 4에서 나타난 바와 같은 액상편석의 분포가 많이 나타나지 않았다. 이에 반해 게이트 C의 경우는 액상 편석이 존재하고 있다는 것을 알 수 있다. Part E와 같이 두께가 얇은 캐비티의 끝단 부위는 소재의 충전 속도 영향이 적게 나타난다. 이로 인하여 액상 편석의 발생이 영향을 적게 일어난다.

게이트의 단면적이 동일한 게이트 B와 게이트 C의 경우 캐비티의 끝단부에서 나타나는 액상편

석의 영향이 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이는 게이트 C 형상의 경우 Part E까지 소재의 속도 영향이 크게 나타났기 때문으로 사료된다.

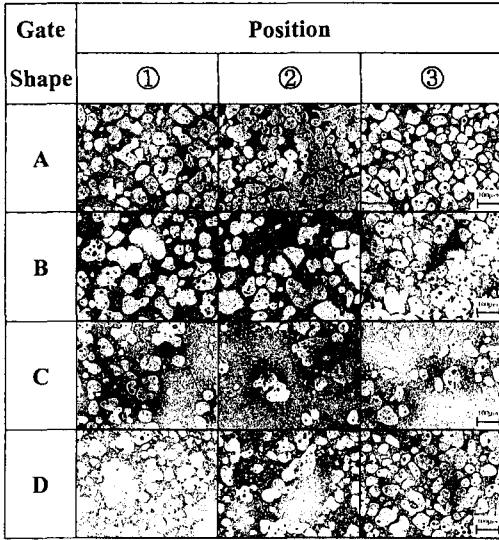


Fig. 5 The microstructure phenomena for variation of gate shape at the final part E of Fig. 5

2.3 시뮬레이션 및 결과

컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 공정해석을 위하여 MAGMASoft 를 사용하였다. 공정해석 조건은 각 게이트의 형상별 시뮬레이션을 실시하였다. 게이트에서의 속도 결과는 Fig. 6 과 같다.

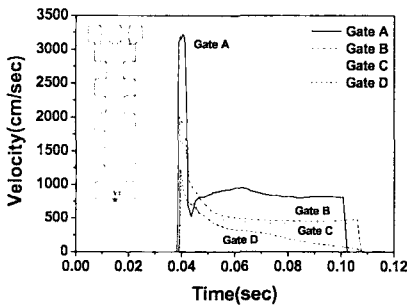


Fig. 6 The distribution of the velocity in each gate

동일한 사출속도 게이트의 형상에 따라 다른 속도 분포를 나타내고 있다. 게이트 단면적이 가장 넓은 게이트 D 가 가장 완만한 속도분포를 나타낸다. 이러한 게이트 D 의 완만한 속도 분포로

인하여 Fig. 4 와 Fig. 5 의 결과와 같이 액상편석 분리 현상이 가장 적게 일어났다.

4. 결론

게이트의 형상이 반응용 다이캐스팅 부품의 충전 거동 및 미세조직에 미치는 영향에 관한 실험을 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 동일한 단면적의 게이트에서도 게이트의 형상으로 인하여 반응용 소재의 충전 거동이 다르게 나타났다.

(2) 게이트의 형상에 따른 반응용 다이캐스팅 부품에 있어서 미세조직의 영향은 부품의 두께에 따라 다르게 나타났다.

(3) 게이트의 형상에 따른 충전 양상은 반응용 다이캐스팅 부품 내부의 액상 편석 발생에 중요한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부 지원하의 국가지정연구실 - Thixo · Rheo 성형연구실(NRL) - 사업 과제에 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) M.C. Flemings, 1991, "Behavior of Metal Alloys in the Semisolid State", Metall. Trans. A, Vol. 22A, pp. 957~980.
- (2) 이재철, 석현광, 이호인, 2002, "탕구형상과 사출속도가 반응용 Al 합금의 유동거동에 미치는 영향", 대한금속·재료학회지, 제 40 권, 제 2 호, pp. 189~196.
- (3) 강충길, 2002, "금속레오로지 소재성형의 연구동향 및 대량생산을 위한 해결방안", 한국소성가공학회지, 제 11 권, 제 2 호, pp. 123~131.
- (4) M. Itamura, N. Yamamoto, K. Murakami, M. Adachi, M. Kikuchi, Y. Tanaka and E. Kobayashi, 1999, "Application of Flow Simulation to Die Casting Die Design", Proc. of Modeling of Casting and Solidification Processes IV, pp. 185~193.
- (5) C. G. Kang and H. K. Jung, 2001, "Semisolid Forming Process-Numerical Simulation and Experimental Study", Metall. Trans. B, Vol.32B, pp. 363~372.