

비대칭 다단 두께 변화를 고려한 결정입 제어 반응용 알루미늄 소재의 캐스팅에서 사출속도가 액상편석에 미치는 영향

서판기¹ · 정용식¹ · 강충길[#]

The Effect of Injection Velocity on Liquid Segregation of Grain Controlled Rheological Material Considering Asymmetry Multi Thickness Variation

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

(Received August, 17, 2004)

Abstract

Recently, in the field of automobile industry, to solve the problem of reducing the weight of automobile for the improvement of fuel efficiency and the protection of environment, the aluminum alloy parts have been substituted for the steel parts. However, the aluminum alloy does not have as good mechanical property as the steel part. To improve the mechanical property, the semi-solid die casting process is performed to make automobile parts. In the fabrication of semi-solid material the control of the liquid segregation is very important to improve the material properties of aluminum alloy. In the present paper we examine the influence of the liquid segregation by the injection conditions in the semi-solid die casting has been investigated.

Key Words : Liquid Segregation, Injection Velocity, Grain Size, Aluminum Alloy, Rheological Material

1. 서 론

최근 에너지 절감차원에서 자동차, 가전용 부품의 경량화라는 시대적 요구가 점차 높아지고 있다. 이를 충족하기 위해 알루미늄으로 제작한 부품의 수요가 급증하고 있다. 알루미늄 재료를 이용한 주조 및 다이캐스팅 공정은 수지상정 조직이나 편석이 존재하여 기계적 성질이 균일하지 못하고, 금형의 열충격 등 많은 구조적 문제점을 안고 있다. 따라서 알루미늄 합금을 이용한 성형 공정에서 나타날 수 있는 문제점을 해결하기 위해 반응용 성형에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1~3].

반응용 성형의 장점은 상대적으로 낮은 온도에

서 성형하므로 에너지 절감효과를 얻을 수 있으며, 기공(porosity)이나 수축(shrinkage)과 같은 주조 결함을 극소화하여 품질 향상을 얻을 수 있다 [4~6]. 성형 제품의 내부 조직면에서 비교하면 제조된 제품의 조직이 미세하고 균일한 구상화 조직을 얻을 수 있어 기계적 성질이 우수하다. 성형 하중이 적으므로 에너지 절감과 성형 설비의 소형화가 가능하다. 또한, 변형 저항이 적어 복잡한 형상을 갖거나 고체상태에서 성형이 어려운 소재를 최종 제품에 근사한 형태로 성형할 수 있다. 이와 같이 반응용 성형은 기존의 가공법에 비해 많은 장점을 가지고 있기 때문에 현재까지 자동차 현가 장치 부품 생산 공정에 주로 이용되어 왔다[7].

반응용 다이캐스팅 공정의 경우 고상과 액상이

1. 부산대학교 정밀기계공학과

교신저자: 부산대학교 기계공학부, cgkang@pusan.ac.kr

비대칭 다단 두께 변화를 고려한 결정입 제어 반응용 알루미늄 소재의 캐스팅에서 사출속도가 액상편석에 미치는 영향

공존하는 복잡한 형상의 케비티(cavity) 내부에 재료가 충전될 때 액상과 고상이 분리되어 제품의 기계적 성질을 저하시키는 액상편석(liquid segregation) 현상을 일으킨다. 액상편석 현상은 성형품의 두께 변화와 케비티 내부에 방해물이 존재할 때 주로 발생한다. 또한 반응용 재료가 금형의 케비티 내에 충전될 때 런너(runner), 게이트(gate), 케비티 및 오버플로우(overflow)를 통하여 충전이 이루어진다. 충전 속도의 크기에 따라서 소재의 자유면이 금형 벽면에 접촉된 후에는 소재의 유동 방향이 급격히 변화하게 되어 액상편석을 유발할 수 있다. 이러한 유동저하로 인한 액상편석은 불균일한 고상을 분포를 가져오기 때문에 성형품에 있어서 기계적 성질의 불균일을 초래한다[8-9].

따라서, 본 연구에서는 반응용 다이캐스팅 공정에 있어서 사출 조건이 액상편석에 미치는 영향과 케비티 내에 방해물의 유무에 따른 반응용 소재의 충전 거동과 미세조직에 미치는 상관 관계를 조사하기 위한 연구를 수행하였다.

2. 시험편 성형 실험의 사출 조건

반응용 다이캐스팅 공정에 있어서 슬리브의 위치에 따른 사출 속도가 편석과 고상율에 미치는 영향을 파악하기 위하여 반응용 다이캐스팅 실험을 수행하였다.

Fig. 1에 표시한 A, B, C, D의 위치는 반응용 소재가 슬리브(sleeve)와 금형 내부에 충전될 때 사출 속도를 변화시키는 위치를 나타낸 것이다. A 지점은 재가열된 소재가 슬리브를 100% 충전시키는 위치이며, B 지점은 런너로 유입될 때의 위치이다. C 지점은 제품 내부로 유입되기 직전인 게이트에서의 위치를 나타내며, D 지점은 최종 충전 위치이다. A, B, C, D 지점 사이에서 속도를 4단계로 나누어 각각 V_1, V_2, V_3, V_4 로 표시하였다.

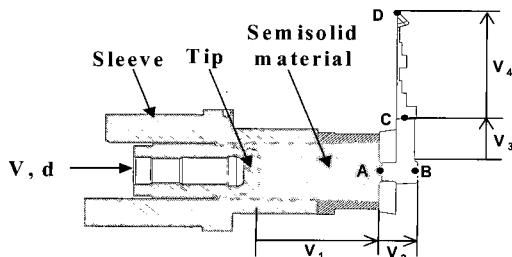


Fig. 1 The velocity of injection speed at switching point of short sleeve

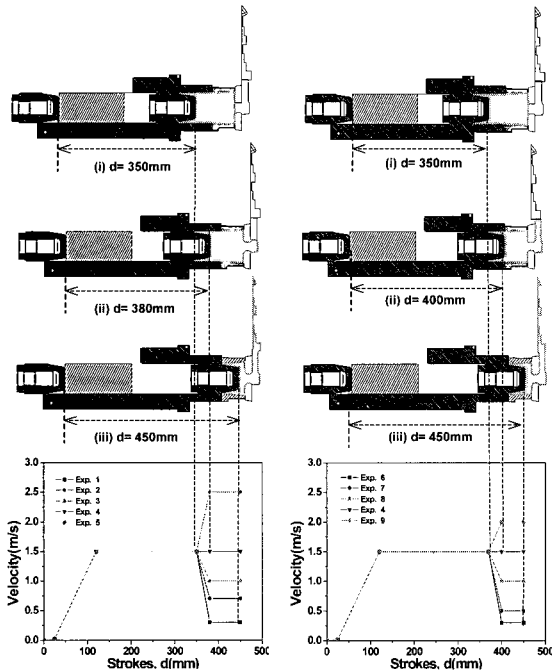
Fig. 1의 V 와 d 는 성형 실험 중 플런저 행정거리와 행정 시 속도를 나타내는 것이다.

사출 조건이 액상편석에 미치는 영향을 파악하기 위하여 Table 1의 사출 조건으로 성형 실험을 실시하였다.

Table 1 Velocity of plunger tip according to the injection speed and pressure

Exp. No.	V_1 (m/s)	V_2 (m/s)	V_3 (m/s)	V_4 (m/s)	Pressure (bar)
1	1.5	1.5	0.3	0.3	1000
2	1.5	1.5	0.7	0.7	1000
3	1.5	1.5	1.0	1.0	1000
4	1.5	1.5	1.5	1.5	1000
5	1.5	1.5	2.5	2.5	1000
6	1.5	1.5	1.5	0.3	1000
7	1.5	1.5	1.5	0.5	1000
8	1.5	1.5	1.5	1.0	1000
9	1.5	1.5	1.5	2.0	1000
10	1.5	1.5	1.5	0.3	1100
11	1.5	1.5	1.5	0.3	1200
12	1.5	1.5	1.5	0.3	1300

Fig. 2는 플런저의 행정거리에 따른 플런저 팁의 속도변화와 슬리브와 케비티 내에서의 소재의 충전 양상을 나타낸 것이다. Fig. 2(a)는 소재가 슬리브를 100% 충전 시킬 때까지(Fig. 1의 A 점까지 충전될 때) 플런저의 속도는 1.5m/s의 고속으로 유지한 후 Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 B 지점까지 충전될 때 플런저 팁의 속도를 5 단계로 변화시킨 것이다. 반응용 소재가 B에서부터 금형 케비티 내부에 충전될 때의 충전 속도는 소재가 A 지점에서 B 지점에 도달하는 플런저의 최고 속도와 동일하다. Fig. 2(b)는 반응용 소재가 Fig. 1에서 보여주는 A 위치까지 충전될 때 플런저의 속도는 Fig. 2(a)와 동일하게 1.5m/s로 하였다. Fig. 1의 A 위치에서 C 위치까지 충전하는데 필요한 충전 속도는 5 단계로 변화시켰다. Fig. 2(a)에 나타난 실험 조건은 런너와 케비티 부위를 반응용 소재가



(a) Exp. No. 1, 2, 3, 4 and 5 (b) Exp. No. 4, 6, 7, 8 and 9

Fig. 2 The change of injection speed according to the plunger of stroke

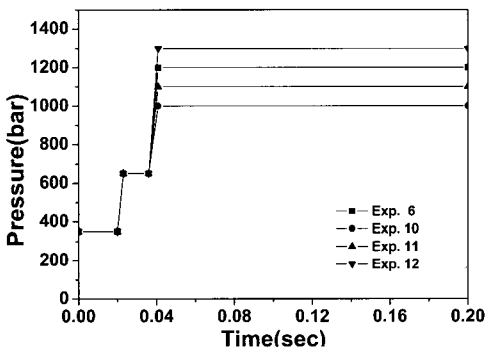


Fig. 3 The change of pressure after final filling

충전하는 동안의 속도를 동일시킨 실험 조건이다. 반면, Fig. 2(b)는 반응용 소재가 케비티를 충전하는 동안의 속도를 런너 부위의 충전 속도와 달리 하여 충전 실험을 한 조건을 나타내는 것이다.

최종 단계의 사출속도는 반응용 소재가 C 지점까지 충전 될 때 플런저의 속도와 동일하게 하도록 하여 금형내부에 소재의 충전이 완료되도록

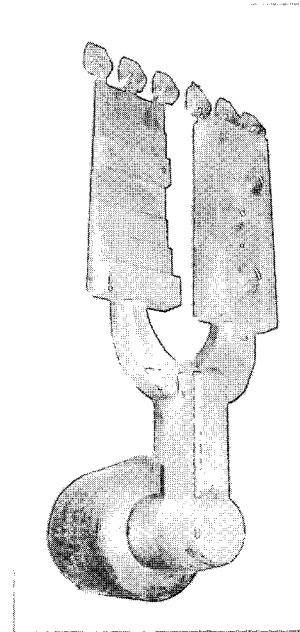


Fig. 4 The photograph of sample fabricated by semi-solid die casting

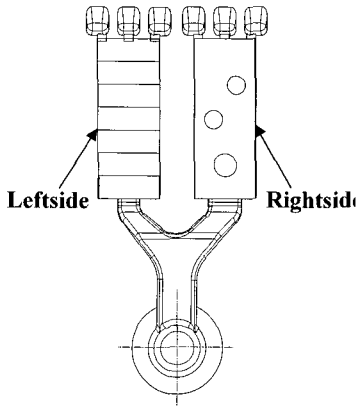
하였다. 최종 충전 이후에 가해진 압력은 1000bar로 동일하게 설정하였다.

최종 충전 시에 금형과 접하고 있는 표면층이 급속히 응고하게 된다. 응고수축에 의해 금형 표면의 응고층과 금형 벽면사이에 공극이 발생하게 되고, 이때 가압력이 전달되면 초기 응고층이 파단되어 내부의 액상이 공극을 채우게 된다. 이러한 표면결함은 열처리 시에 초기 응고층과 액상층이 분리되는 블리스터(blister)를 발생시키게 된다. 액상편석에 의한 블리스터의 발생은 제품 전체부위에 있어서 불균일을 유발하게 되어 제품의 기계적 성질을 저하시키는 원인이 된다. 그러므로 최적의 사출조건을 설정하여 블리스트를 줄일 수 있는 방법을 고려하여야 한다. 따라서, Fig. 3에서 보여주는 바와 같이 가압력이 구상화의 조직 변화와 고상율에 미치는 영향을 파악하였다.

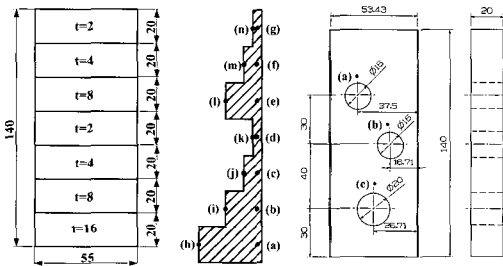
Fig. 4는 실험을 통하여 성형된 제품의 형상을 나타내는 사진이다. 금형의 케비티는 두가지 형상으로 이루어져 있다. 다단의 형상을 가진 왼쪽 부분과 세개의 방해물을 가진 오른쪽 부분이다.

Fig. 5(a)의 왼쪽 부분은 두께가 7단계로 변화하는 형상이다. Fig. 5(b)는 두께를 2mm에서 최대 16mm까지 변화시켰다. 게이트 입구에서의 시험편의

비대칭 다단 두께 변화를 고려한 결정립 제어 반응용 알루미늄 소재의 캐스팅에서 사출속도가 액상편석에 미치는 영향



(a) The shape of sample model



(b) Dimension of leftside (c) Dimension of rightside

Fig. 5 Sample dimension and experimental position to investigate the microstructures

두께는 16mm이며, 8, 6, 4, 2mm로 두께를 감소시킨 후 다시 두께를 8mm로 증가시킨 후 다시 4, 2mm로 감소시켰다. 두께가 최소 2mm 인구간을 설정하여 최소 충전 두께와 액상편석의 발생유무를 조사하였다. Fig. 5(b)에 표시된 (a)~(n)는 성형 후 각 위치에서 액상편석의 발생을 조사하기 위하여 분석한 시험편의 위치를 나타내는 것이다.

Fig. 5(a)의 오른쪽 케비티에 존재하는 세 개의 구멍을 가진 부분의 치수 및 형상은 Fig. 5(c)에 나타내었다. 이때 세 개의 원의 지름은 20, 16, 16 mm이다. 세 개의 원 중 첫 번째 원의 중심은 게이트 입구로부터 30mm, 시험편의 중심부에 위치한다. 두 번째의 원의 중심은 게이트 입구로부터 70mm, 시험편의 중심부에서 왼쪽으로 10mm 편심을 가진 위치에 있다.

세 번째 원의 중심은 게이트 입구에서 100mm, 시험편의 중심부에서 오른쪽으로 10mm 편심을

Table 2 Properties used to simulate semi-solid die casting of sample by using A356 alloy

Parameters	Symbol	Unit	Values
Solidus temperature	T_s	°C	547
Liquidus temperature	T_l	°C	617
Latent heat	Q	KJ/kg	430
Initial billet temperature	T_b	°C	583
Initial die temperature	T_d	°C	250
Heat transfer coefficient between die and die	h_d	W/m ² K	1,000
Heat transfer coefficient between material and die	h_m	W/m ² K	Temperature dependant
Number of control volumes	EA		954,408
Number of metal cells	EA		74,279

가진 위치에 있다. Fig. 5에서 보여주는 바와 같이 방해물을 위치시킨 것은 Fig. 5(b)와 연계하여 시험편에 충전이 일어나는 동안 유동에 장애가 일어날 수 있을 것으로 예측한 위치이다. Fig. 5(c)에 표시된 위치 (a)~(c)는 충전 중 방해물로 인한 유동의 장애로 결함이 예측되는 조직을 관찰하기 위하여 분석한 부분을 나타낸 것이다.

3. 다단 형상의 케비티에 대한 시뮬레이션 결과 및 미세조직

반응용 다이캐스팅 공정의 해석을 위해서는 점도의 영향이 고려되어야 한다. MAGMASoft의 점도거동 모델은 Ostwald-de Waele 모델과 Carreau-Yasuda 모델이 있다. 본 연구에서는 반응용 성형 공정 해석을 위하여 Ostwald-de Waele 모델을 이용한 점도식을 사용하였다.

- Ostwald-de Waele 모델

$$\eta = \rho m \dot{\gamma}^{n-1}$$

여기서, m 값은 온도의 함수로 주어지는 데이터를 활용하여 계산한 결과가 실험결과와 유사함을 알 수 있다[10~11]. 따라서, 본 연구에서는 Ostwald-

de Waele 모델을 이용하여 응고 해석을 수행하였다.

시험편의 충전 중 유동의 특성을 파악하기 위하여 MAGMASoft를 사용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션에 사용된 해석 조건은 Table 2에 나타난 바와 같다.

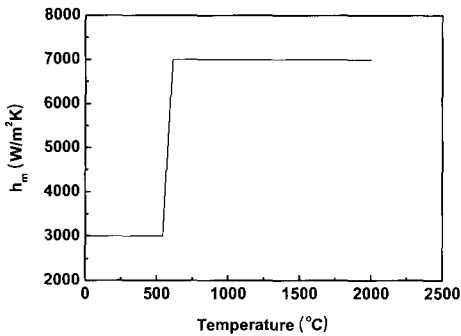


Fig. 6 Heat transfer coefficient between material and die

Material 과 die 사이의 열전달 계수는 Fig. 6에 나온 그래프에서의 값을 사용하였다. 알루미늄 소재가 반용융 상태로 존재하는 구간에서의 열전달 계수 값을 보간법을 이용하여 구하였다.

Fig. 7와 Fig. 8은 Table 1에 나타난 실험 조건 중 1, 4, 5 및 6, 8, 9번 조건의 시뮬레이션을 실시한 후 충전 중 시험편의 속도 벡터를 비교한 것이다. Fig. 7에 나타난 1번 실험조건은 Table 1에서 보여주는 바와 같이 소재가 캐비티 내부에 충전될 때 충전 속도는 0.3 m/s로 설정하였다. 시뮬레이션 결과 85%와 95% 충전 상태에서 실험조건 1의 충전 거리가 실험조건 4, 5에 비하여 낮게 나타났다. 게이트를 통과한 유동은 세 조건 모두 두께가 감소하는 위치를 통과한 후 금형의 벽면 방향으로 유동 됨을 알 수 있다. 그리고, 95% 충전 상태에서 나타난 흐름은 두께가 감소하는 부분을 통과한 후 다시 두께가 증가하는 부분으로 진행되는 유동으로 와류가 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 8은 실험조건 6, 8, 9번의 조건에서 시뮬레이션 한 속도벡터를 나타낸 것이다. Fig. 7의 충전 중 일어나는 유동의 양상은 비슷함을 알 수 있다. 그러나, 실험조건 6, 8번의 경우 충전이 일어나는 동안 플런저의 속도를 느리게 하기 때문에 충전 중 유동의 변화를 관찰할 수 있었다. 실험조건 6번

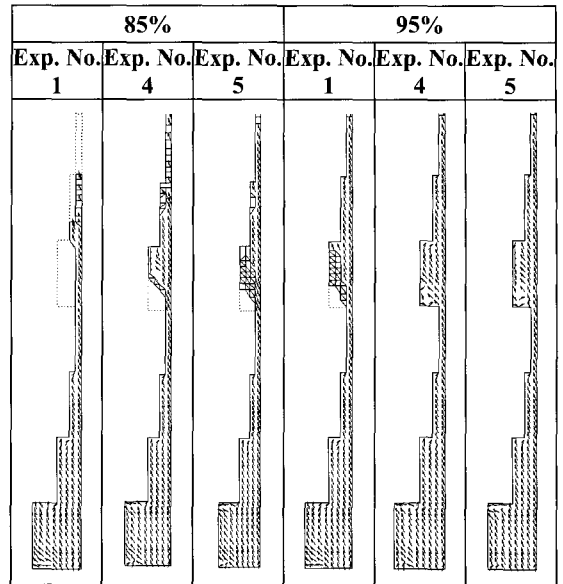


Fig. 7 Comparison of velocity vector direction in experimental number 1, 4 and 5

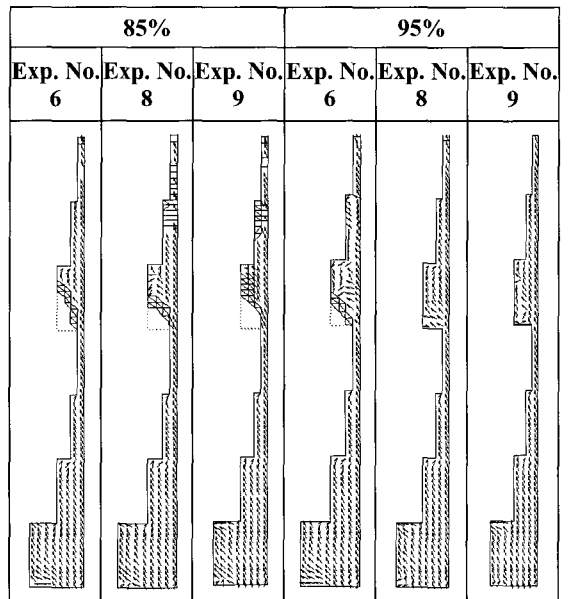


Fig. 8 Comparison of velocity vector direction in experimental number 6, 8 and 9

의 경우 $V_1 \sim V_3$ 까지는 플런저 팁의 속도가 1.5m/s로 일정하지만 V_4 에서는 플런저 팁의 속도가 0.3 m/s로 낮게 설정되어 있다. 이로 인해 충전 중

비대칭 다단 두께 변화를 고려한 결정입 제어 반응용 알루미늄 소재의 캐스팅에서 사출속도가 액상편석에 미치는 영향

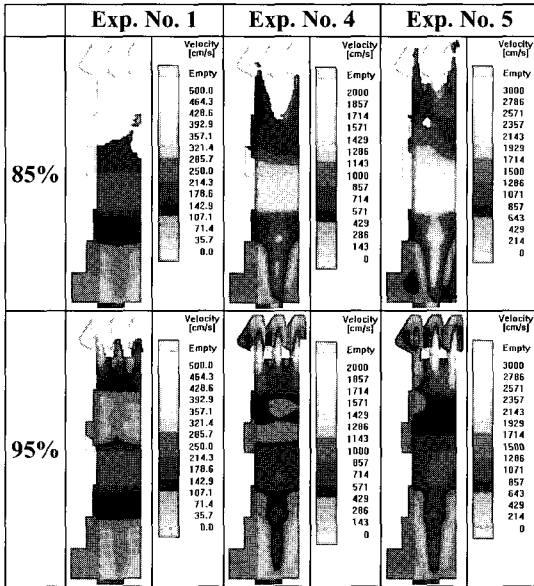


Fig. 9 Comparison of velocity behavior in experimental number 1, 4 and 5

유동이 받는 영향은 실험조건 8, 9번과는 다르게 나타났다. 실험조건 6번은 낮은 충전 속도로 인하여 95% 충전 후의 유동은 실험조건 8, 9번에 비하여 와류와 역류가 많이 발생하는 것을 시뮬레이션 결과로부터 알 수 있었다.

Fig. 9와 Fig. 10는 성형 실험 중 샘플 금형의 왼쪽 부분의 유동 상태를 나타낸 것이다. Fig. 8은 실험조건 1, 4, 5번의 시뮬레이션 결과 중 충전 속도 분포를 나타낸 것이다. 실험조건 1에 대한 속도 분포는 실험조건 4, 5번과 매우 다른 결과를 보여 주고 있다. 실험조건 1번의 경우 충전 속도 V_3, V_4 가 0.3m/s로서 사출조건 4, 5에 비해 낮다. 따라서, 85% 충전 중 실험조건 1번의 충전 양상은 시뮬레이션 전체에 걸쳐서 균등한 충전 결과를 보여 주었다. 실험조건 5번의 경우 충전 중 플런저의 속도인 V_3, V_4 가 2.5m/s로 실험조건 중 가장 빠르다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이 충전 중 미충전 부위가 발생하였다. 충전 속도가 가장 느린 1번 실험조건을 제외한 실험조건 4, 5번의 95% 충전 후 속력의 분포는 비슷한 양상을 보였다. Fig. 10은 실험조건 6, 8, 9번의 시뮬레이션 결과 중 충전 속도 분포를 나타낸 것이다.

실험조건 6, 8, 9번은 $V_1 \sim V_3$ 까지의 속도는 일정하지만 V_4 즉, 반응용 소재가 게이트를 통과하여

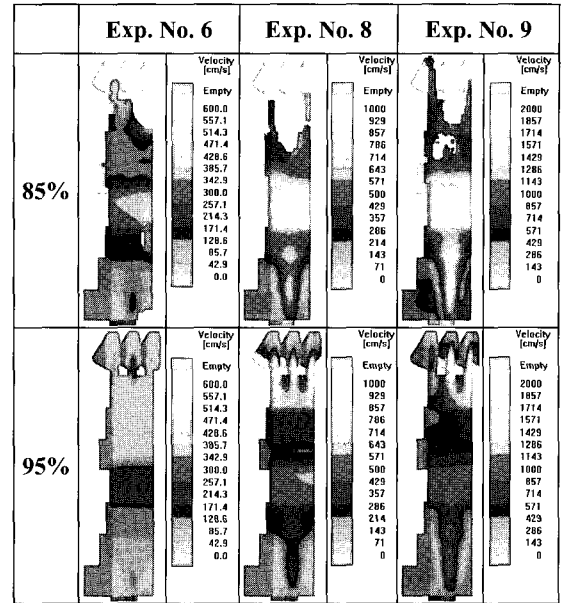


Fig.10 Comparison of velocity behavior in experimental number 6, 8 and 9

캐비티 내로 진입하는 속도가 달라지는 것이다. 따라서, 속도 분포가 Fig. 9에 나타난 분포와 다른 결과를 나타내었다. 실험조건 6 번의 경우 $V_1 \sim V_3$ 까지는 1.5m/s 의 빠른 속도로 충전이 이루어지다가 V_4 에서 속도가 0.3m/s로 감소한다.

따라서, 반응용 소재가 캐비티 내로 진입된 후 반응용 소재의 속도는 감소하지만 진입 전 가속을 받은 반응용 소재의 관성에 의해 충전 양상에는 충전 중 미충전 부위가 발생하는 양상을 보이고 있다. 실험조건 9 번의 경우 반응용 소재는 캐비티 내에서 속도가 2.0m/s로 증가한다.

이로 인해 반응용 소재가 시뮬럼 금형의 좌우측 벽면을 타고 충전이 빠르게 일어나는 것이 관찰되었다. 그리고 빠르게 좌우측 금형의 벽면을 따라서 충전되는 반응용 소재의 유동 현상 때문에 미충전 부위가 발생할 것으로 보인다. Fig. 9에서 나타난 시뮬레이션의 결과, 속도가 가장 느린 실험조건 6번의 경우가 충전 후 가장 균일한 속도 분포를 나타내고 있다. 실험조건 8, 9번의 속도 분포는 비슷한 양상을 보이고 있다.

Fig. 11와 Fig. 12는 반응용 소재가 런너(Fig. 1의 B지점)와 게이트(Fig. 1의 C지점)를 통과할 때까지의 속도를 변화 시켰을 때 Fig. 5 (b)에 나타난 (a)~(n)부위 중 편석의 영향이 많을 것으로 예측

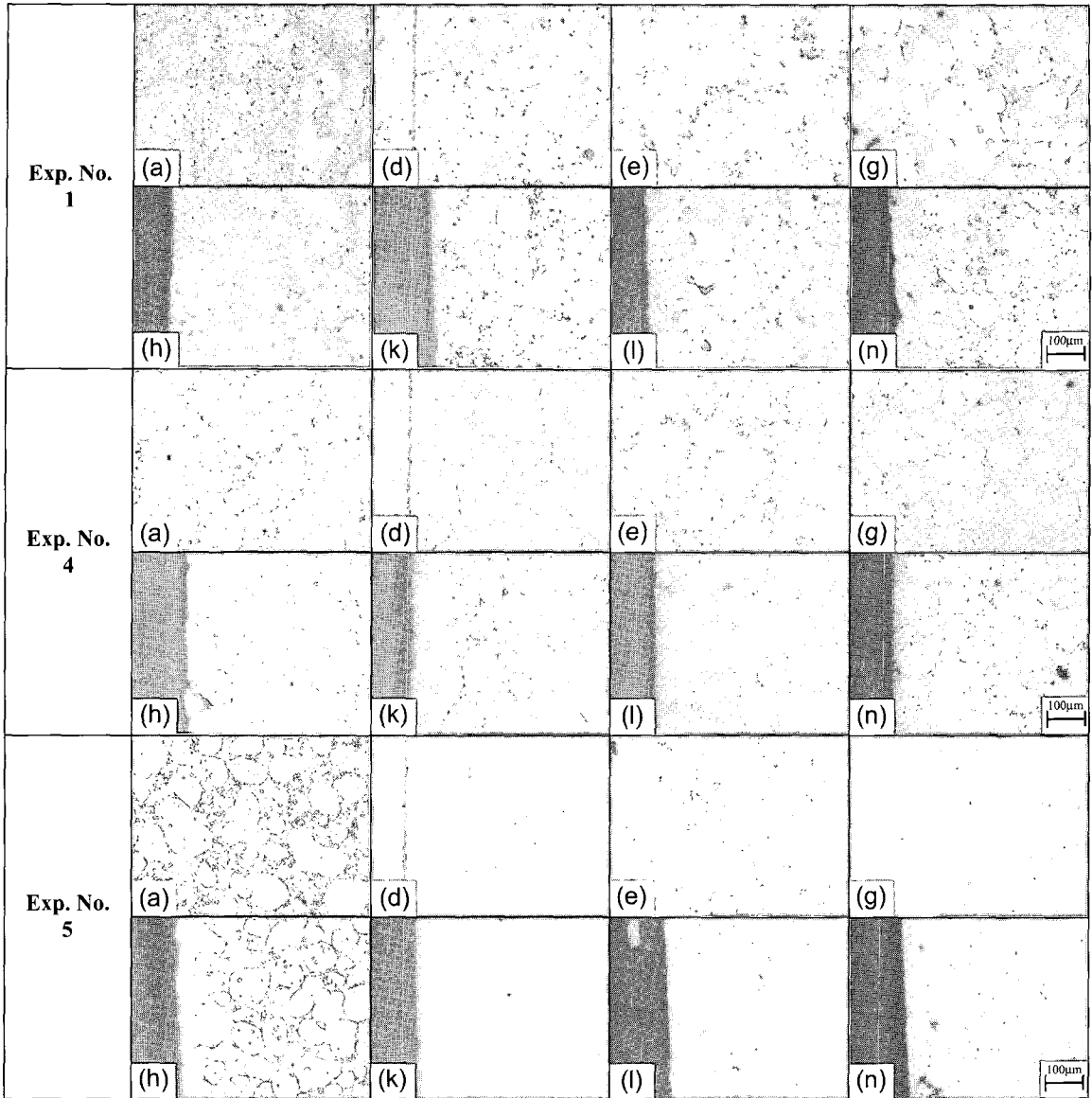


Fig.11 Comparison of microstructure in each position of fabricated sample in experimental number 1, 4 and 5

된 (a), (d), (e), (g), (h), (k), (l) 와 (n) 부위의 미세조직 사진을 나타낸 것이다. Fig. 10의 실험조건 1번의 미세조직에서 보면, 최종 충전 위치인 (n)부위는 표면층이 거의 액상으로 이루어져 있는 과도한 액상편석을 나타내고 있으며, 미세 수축공이 많이 분포하고 있음을 볼 수 있다.

이것은 런너에서부터 저속의 충전속도로 인하여 최종 충전 위치에 도달하기 전에 온도가 급격

히 감소했기 때문이다. 온도가 감소한 소재와 가압력의 전달로 유입된 액상이 겹치게 되어 수축공을 유발한다. 실험조건 4, 5 번은 플런저의 속도가 빠를 경우의 미세 조직이다. 실험조건 1 번과는 달리 고상율의 분포가 균일하고 수축공의 발생이 적음을 알 수 있다. 또한, 중심부의 2mm 부위와 최종 충전 위치의 2mm 부위에서도 액상편석이 발생하지 않았다.

비대칭 다단 두께 변화를 고려한 결정입 제어 반응용 알루미늄 소재의 캐스팅에서 사출속도가 액상편석에 미치는 영향

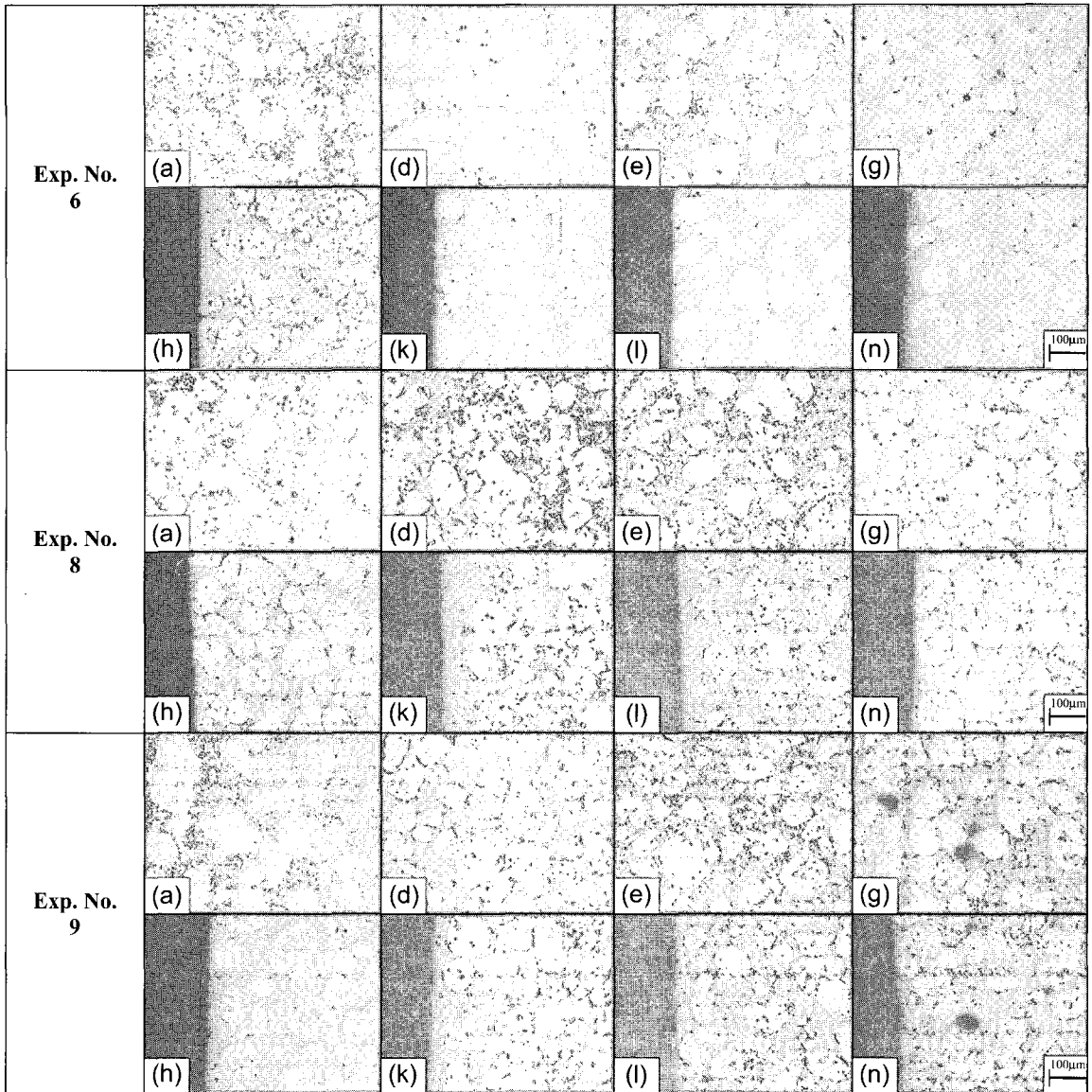


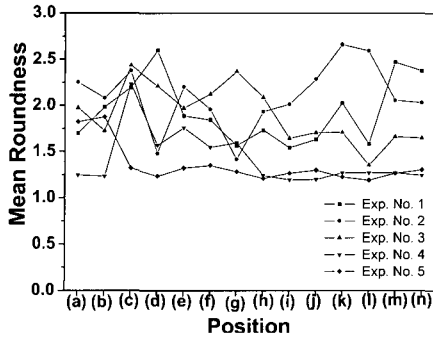
Fig.12 Comparison of microstructure in each position of fabricated sample in experimental number 6, 8 and 9

Fig. 12은 게이트에서 플런저의 속도를 변화시켰을 때 미세조직을 나타낸 것이다. 런너에서 플런저 속도를 변화시켰을 때와는 달리 저속구간에서도 액상편석이 현저히 감소하였다. 그러나, 최종 충전 부위에서는 액상편석과 미세기공을 볼 수 있다. Fig. 11과 마찬가지로 플런저의 속도가 증가하면서 액상편석은 감소하였다.

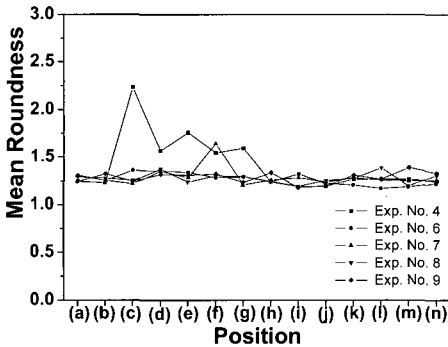
Fig. 13, Fig. 14 와 Fig. 15 는 Fig. 5(b)에 나타난

시험편의 위치 (a)~(n)의 미세조직을 관찰하여 상 분석을 실시한 결과를 나타낸 것이다.

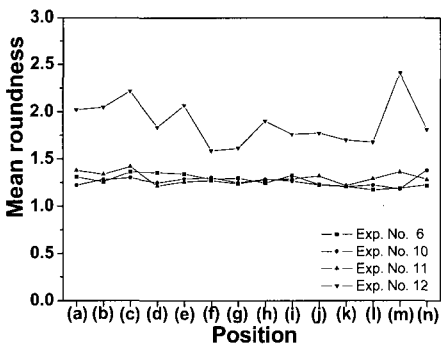
Fig. 13은 각각의 실험조건에 따른 평균 등가율을 나타낸 것이고 Fig. 14는 각각의 실험조건에 따른 평균 등가지름을 나타낸 것이다. 평균 등가율을 살펴보면 캐비티 내로 진입하는 반응용 소재의 속도가 변화는 실험조건의 경우는 각 부위마다 균일한 평균 등가율을 보인다.



(a) Exp. No. 1, 2, 3, 4 and 5



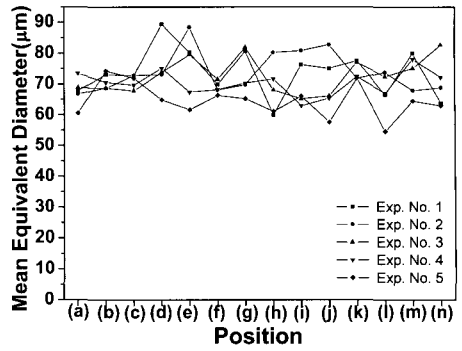
(b) Exp. No. 4, 6, 7, 8 and 9



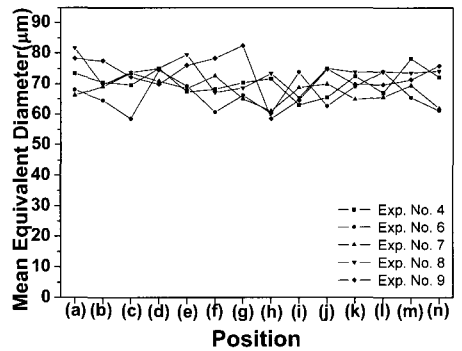
(c) Exp. No. 6, 10, 11 and 12

Fig.13 Mean roundness at each position according to the experimental number

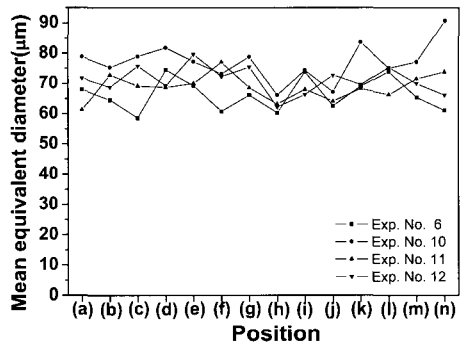
그러나, 케비티 내로 진입하기 전의 속도 V_3 가 변화하여 케비티 내로 진입한 실험조건에서는 평균 등가율의 분포가 대부분 불균일한 것을 알 수 있었다. 평균 등가치율을 살펴보면 사출 속도가 가장 느린 실험조건 1 번이 가장 크게 나타났다. 위의 원인은 사출 속도가 느리기 때문 반응용 소재가 완전히 충전되기 전에 온도가 급격히 낮아졌기 때문이다.



(a) Exp. No. 1, 2, 3, 4 and 5



(b) Exp. No. 4, 6, 7, 8 and 9



(c) Exp. No. 6, 10, 11 and 12

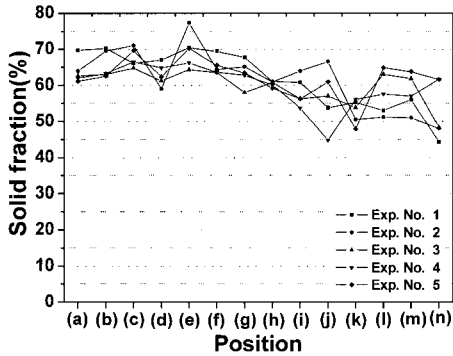
Fig.14 Mean equivalent diameter at each position according to the experimental number

Fig. 15 는 미세조직 사진으로부터 구한 각 부위의 고상율 분포를 나타낸 것이다. 고상율의 분포를 살펴보면 거의 모든 실험조건에서 시뮬레이션 결과에서 나타난 충전이 가장 늦게 일어나는 부위인 (l), (m), (n) 부위가 다른 부위에 비하여 고상율이 낮게 나타났다.

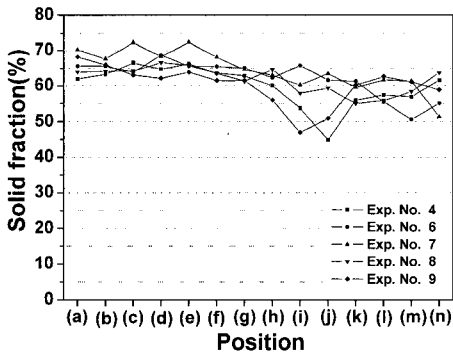
비대칭 다단 두께 변화를 고려한 결정입 제어 반응용 알루미늄 소재의 캐스팅에서 사출속도가 역상편석에 미치는 영향

4. 방해물이 존재하는 케비티에 대한 시뮬레이션 결과 및 미세조직

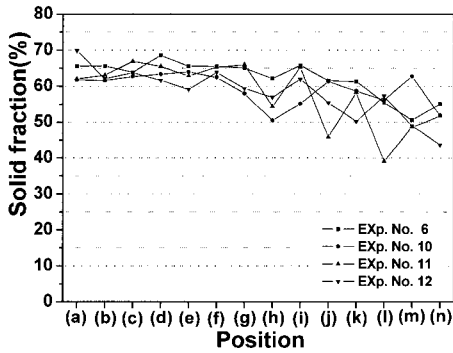
Fig. 16 과 Fig. 17 은 성형 실험 중 방해물이 존재하는 케비티에 있어서 속도 벡터의 분포를 나타낸 것이다.



(a) Exp. No. 1, 2, 3, 4 and 5



(b) Exp. No. 4, 6, 7, 8 and 9



(c) Exp. No. 6, 10, 11 and 12

Fig.15 Solid fraction at each position according to the experimental number

Fig. 16 는 실험조건 1, 4, 5 번에 대한 충전 속도 벡터 분포를 나타낸 것이다. Fig. 7 와 Fig. 8 에서 두께 변화가 있는 케비티에 대한 속도 벡터의 분포를 살펴본 바와 같이 실험조건 1 의 속도 벡터는 실험조건 4, 5 번과 매우 다른 결과를 지니고 있음을 알 수 있다.

금형 형상의 가운데 부분에 반응용 소재의 충전에 장애물 역할을 하는 구멍을 가지고 있다. 이는 반응용 소재의 흐름을 방해하게 된다. 이런 방해로 인해 모든 실험 조건에서 거의 동일한 부위에서 반응용 소재의 흐름에 와류와 충전 방향에 반대가 되는 역류 현상이 발생하는 것을 알 수 있다.

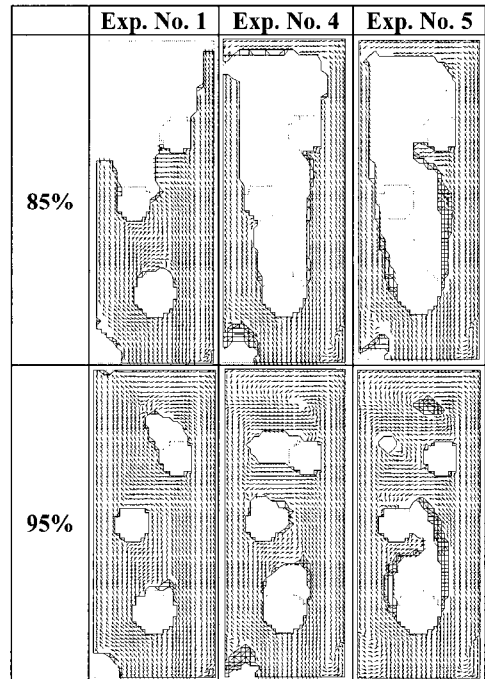


Fig.16 Comparison of velocity vector direction in experimental number 1, 4 and 5

실험조건 1의 경우는 반응용 소재의 속도가 실험조건 4번과 5번에 비하여 현저하게 느리다. 따라서 사출속도가 감소할 수록 충전 중 금형 내에서 발생할 수 있는 반응용 소재의 와류와 역류의 영향이 가장 작게 일어나는 것을 시뮬레이션 결과를 통하여 알 수 있다. 이에 반해 실험조건 4번과 5번의 경우 V_3, V_4 가 1.5m/s와 2.5m/s로 다르지

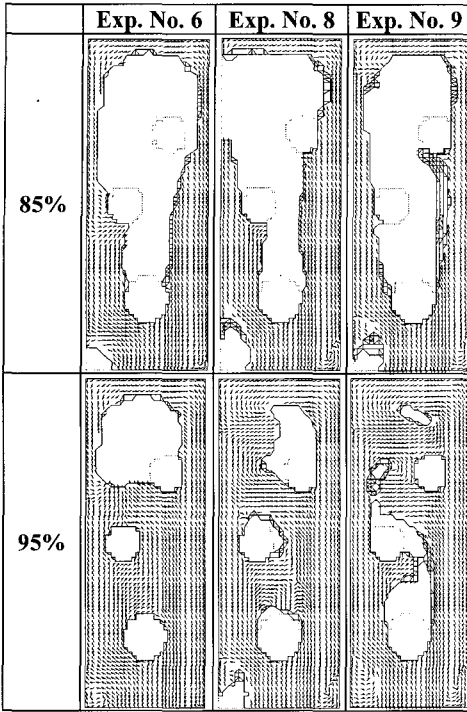


Fig. 17 Comparison of velocity vector direction in experimental number 6, 8 and 9

만 실험조건 1번의 경우보다 빠른 속도를 지니고 있다.

Fig. 17은 실험조건 6, 8, 9 번의 조건에서 시뮬레이션 한 결과를 나타낸 것이다. 실험조건 6, 8, 9 번은 $V_1 \sim V_3$ 까지의 속도는 일정하지만 V_4 즉, 반응용 소재가 게이트를 통과하여 케비티 내로 진입할 때 사출속도는 각각 0.3, 1.0 및 2.0m/s로 설정한 경우이다. 실험조건 6 번의 경우 게이트를 통과하여 케비티 내로 진입하는 반응용 소재의 속도가 1.5m/s 에서 0.3m/s로 감소하는 실험 조건이다.

소재가 케비티 내로 진입할 때 사출 속도가 감소할 경우는 반응용 소재가 케비티에 진입할 때 발생한 관성력이 충전 중 유동의 방향에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이에 반해 실험조건 8 번과 9 번의 경우는 V_4 가 1.0m/s 와 2.0m/s로 실험조건 6 번 보다는 빠른 속도로 케비티 내로 진입한다. 따라서 실험조건 6 번에 비하여 다른 충전 양상을 지님을 알 수 있었다. 실험조건 6 번의 경우는 실험조건 8, 9 번에 비하여 비교적 일정한 충전 양상을 예측할 수 있었다. 그러나 반응용 소

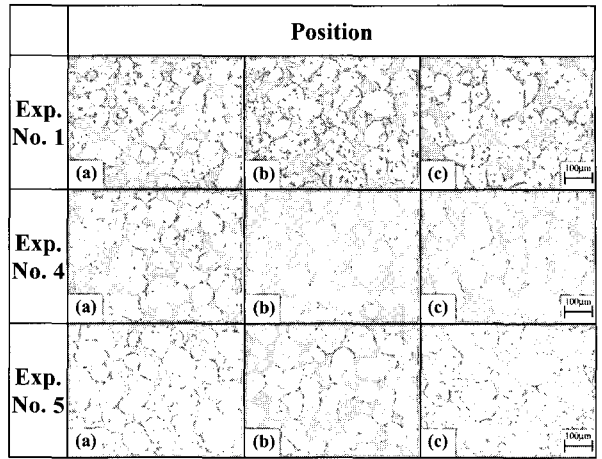


Fig.18 Comparison of microstructure in each position for fabricated point in experimental number 1, 4 and 5

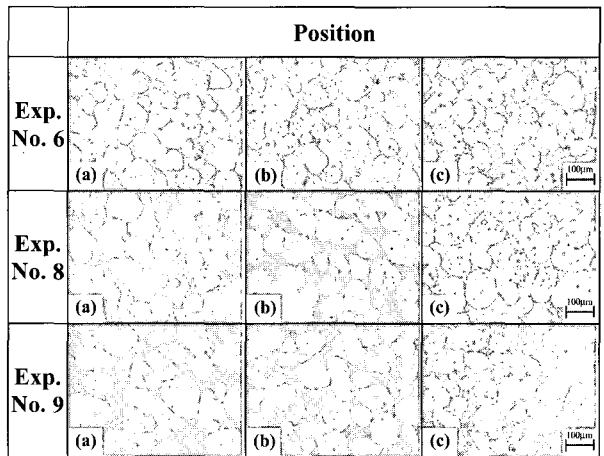


Fig.19 Comparison of microstructure in each position for fabricated point in experimental number 6, 8 and 9

재가 케비티 내로 진입하는 속도가 2.0m/s로 가장 큰 실험조건 9 번의 경우는 시뮬레이션 결과에서 보듯이 다른 조건에 비하여 반응용 소재의 와류와 역류 현상으로 편석 현상이 상당히 많이 발생할 것으로 예측되었다.

Fig. 18과 Fig. 19은 장애물의 역할을 하는 구멍의 뒷부분인 Fig. 5 (c)에 나타난 (a), (b), (c) 부분의 미세조직을 나타낸 것이다. Fig. 18의 실험조건 1번의 미세조직이 실험조건 4, 5번의 미세조직에 비

비대칭 다단 두께 변화를 고려한 결정입 제어 반응용 알루미늄 소재의 캐스팅에서 사출속도가 액상편석에 미치는 영향

하여 조대하고 불균일한 현상을 발견할 수 있었다. 이는 사출 속도가 느리기 때문에 반응용 소재가 캐비티 내에 충분히 충전되기 전에 속도가 급격히 감소하기 때문이다. 이에 반해 충분한 사출 속도를 가지고 충전된 실험조건 4번과 5번의 경우는 1번에 비하여 결정립의 크기가 균일한 미세조직을 관찰 할 수 있었다. Fig 19의 경우는 캐비티 내로 진입하는 반응용 소재의 속도를 변화 시킨 샘플금형의 미세조직 사진이다. 실험조건 6번의 경우는 캐비티 내부의 진입 속도가 0.3m/s로 가장 느리다. 캐비티 내부로 진입 전 까지 지닌 속도의 관성으로 인해 (b)와 (c)부분의 미세조직은 비교적 다른 실험조건과 비슷한 고른 조직의 분포를 보이고 있다. 하지만 충전의 마지막 부위로 볼 수 있는 (a)의 미세조직의 경우 실험조건 8번과 9번에 비하여 미세조직이 균일하지 못한 현상을 관찰할 수 있었다. 이는 앞에서 언급한 것과 마찬가지로 반응용 소재가 충분히 캐비티 내에 충전되지 못한 상황에서 반응용 소재의 온도가 급격하게 감소되어 발생한 현상이라고 볼 수 있다.

4. 결 론

반응용 다이캐스팅에 있어서 사출속도와 샘플금형의 형상이 반응용 소재의 충전 거동, 제품의 미세조직 및 편석 현상에 미치는 영향에 관한 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 샘플의 단면적이 급격히 변화가 되고 있는 시험편의 표면 부위(Fig. 5(b)의 (h)~(n))가 단면적이 일정한 시험편의 표면 부위(Fig. 5(b)의 (a)~(g))보다 액상편석이 많이 발생함을 알 수 있었다.

(2) 반응용 소재가 런너까지 충전 될 때 플런저 팁의 속도가 0.3m/s 에서는 제품 표면에 편석 현상이 관찰되었으나, 0.7~2.5m/s 에서는 편석 현상에 무관함을 알 수 있었다.

(3) 반응용 소재가 게이트 입구까지 충전 될 때 플런저 팁의 속도가 0.3~2.0m/s 범위 내에서는 액상편석이 존재하지 않음을 알 수 있었다. 따라서, 액상편석에 미치는 속도 제어 위치는 초기 단면적이 급격히 감소하는 런너의 위치가 게이트의 위치보다 중요함을 알 수 있다.

(4) 제품의 두께 변화가 불균일 할 수록 (Fig. 5(b)의 (a)~(g) 위치) 액상편석에 영향을 미치는 고상율의 분포는 불균일하여, 또한 균일한 표면(Fig.

5(b)의 (h)~(n) 위치)에 비하여 고상율의 값이 감소함을 알 수 있었다.

(5) 반응용 소재가 런너에 충전될 때 플런저의 팁의 사출 속도 변화가 평균 등가율에 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

후 기

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

참 고 문 헌

- [1] G. Chirmetta, L. Zanardi, 1996, Production of Structural Components by Thixoforming Aluminum Alloys, Proc. Of the 4th Int. Conf. On Semi-solid Processing of Alloys and composites, Sheffield, D. H. Kirkwood, P. Kapranos, Eds., Univ. of Sheffield, UK, pp. 235~244.
- [2] K. P. Young, 1996, Semi-Solid Metal Forming Alloys and Composites, Nature and Properties of Semi-Solid Materials proc. Of a Symposium by the TMS Solidification Committees of the Material Design and Manufacture Division, pp. 245~266.
- [3] M. C. Flemings, 1991, Behavoir of Metal Alloys in the Semi-Solid State, Metallurgical Transactions, 27A, pp. 957~981.
- [4] G. Chiarmetta, 1996, Thixoforming of Automobile Components, Proceedings of the 4th Int. Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites. pp. 204~207.
- [5] C. Y. Chen, J. A. Sekhar, D. G Backman, Mehrabian, 1979, Thixoforging of Aluminum Alloy, Materials Science and Engineering, 40, pp. 265~272.
- [6] M. Kiuchi, S. Sugiyama, 1992, A new Process to Manufacture Semi-Solid Metals, 2nd Int'l Conf., on the Processing of Semi-Solid Alloys and Composites MIT, pp. 47~56.
- [7] D. A. Pinsky, P. O. Charreyron, 1993, Alternate Reduce Weight in Automotives, Advanced Materials and Process, Vol. 6, pp. 146~147.
- [8] C. G. Kang, K. D. Jung, 2001, Improvement of the

- Liquid Segregation Phenomena of Semisolid Aluminum Alloys by the Multistage Strain Rate Control in the Compression Test, *Journal of Materials and Performance*, Vol. 10(0), pp. 1~10.
- [9] P. K. Seo, S. W. Youn, C. G. Kang, 2002, The Effect of test Specimen Size and Strain-rate on Liquid Segregation in Deformation Behavior of Mushy State Material, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 130-131, pp. 551~557.
- [10] Bernd Meurer, Dirk Haferkamp, Alexander Jörg, 2001, *Use of simulation in the production of cast aluminium wheels*, MAGMASoft Technical Report.
- [11] Jörg C. Sturm, Preben N. Hansen Götz Hartmann, Achim Egner-Walter, 2002, *Optimized Development for casting and casting process*, MAGMASoft Technical Report.