

박막 성형품의 반응고 성형공정

서판기*, 정용식*, 강충길**

Semi-Solid Forming Process of Thin Products

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

Abstract

Semi-solid forming is the process of stirring alloy during solidification, making the mixture of liquid and solid, solidifying it, reheating it to the solid-liquid coexistent temperature, and then injecting this semi solid slurry into dies. In the semi-solid die casting process, it is very important to find out the correlation of injection condition, microstructure and mechanical properties. Especially, an improper injection condition is the main cause of liquid segregation and non-homogeneous mechanical properties due to the difference of solid fraction according to the position of the products. To ensure the database requisite to the semi-solid die casting product, it is essential to acquire the mechanical properties considering liquid segregation to the injection condition. In this study, the effect of injection condition on liquid segregation, formability, microstructure and mechanical properties in a thin product was investigated.

Key Words : Semi-Solid Die Casting, Injection Condition, Liquid Segregation, Microstructure, Mechanical Properties

1. 서 론

반응고 성형(semi-solid forming)공정이란 고액공존영역에서 소성가공 방식이나 주조 방식을 적용하여 최종형상 또는 준 최종형상으로 성형하는 부품생산기술이며, 에너지 절약 및 경량화 효과의 측면에서 주목받고 있다. 하지만, 고액공존영역에서의 반응고 재료는 고체변형과 액상유동의 복합적인 레올로지(rheology) 특성이 나타날 뿐만 아니라 동일한 외부 조건 하에서도 초기 조직 상태에 따라서 상이한 거동특성을 나타내게 되므로

사출조건, 미세조직 및 기계적 물성의 상관관계에 대한 데이터를 확보하는 것이 어려운 실정이다^{(1),(2)}.

적절하지 못한 사출조건은 고상과 액상의 분리현상인 액상편석의 원인이 되며, 제품 각 부위에서 고상율의 차이를 유발하여 기계적 성질을 불균일하게 한다^{(3),(4)}. 따라서, 반응고 부품설계에 필요한 데이터베이스를 확보하기 위해서 사출조건 변화에 따른 액상편석을 고려한 기계적 물성치의 확보가 필수적이다. 본 연구에서는 박막 부품에서의 사출조건에 따른 액상편석과 성형성, 미세조직 및 기계적 성질을 파악하고자 하였다.

* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

** 부산대학교 기계공학부

2. 반응고 성형실

반응고 다이캐스팅 공정에서 사출속도와 가압조건에 따른 기초적인 실험 데이터를 확보하기 위해서 성형실험을 하였다. Fig. 1은 슬리브와 캐비티의 형상을 나타내고 있으며, 속도변환위치를 A, B, C, D로 표시하였다. A지점은 재가열된 소재가 슬리브를 100% 충전시키는 위치이며, B지점은 러너로 유입될 때의 위치이다. C지점은 제품 내부로 유입되기 직전인 게이트에서의 위치이며, D지점은 최종 충전 위치이다. A, B, C, D지점 사이에서 속도를 4단계로 나누어 V_1, V_2, V_3, V_4 로 표시하였다.

Table 1은 본 연구에 사용되어진 사출속도와 가압력을 나타낸 것이다. A지점까지의 속도는 재가열 빌렛의 급속한 온도강하를 방지하기 위해서 플런저 팁의 속도를 1.2m/s로 설정하였으며, 소재가 Fig. 1의 A, B를 통과할 때 플런저 속도를 각각 V_2, V_3 로 변화시켰다. 또한 Exp. No. 6의 사출조건을 이용하여 가압력을 변화시켜 반응고 성형공정에 있어서 가압력이 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 본 실험은 12단계의 재가열을 거친 이후에 Shot control이 가능한 Buhler 840 Ton 장비에서 수행하였다.

Fig. 2는 플런저의 행정거리에 따른 속도변화와 슬리브와 캐비티 내에서의 소재의 충전양상을 나타낸 것이다. Fig. 2 (a)는 소재가 슬리브를 100% 충전시킬 때까지 1.2m/s의 고속으로 유지한 후 Fig. 1의 B지점에서 속도를 5단계로 변화시킨 것이다. Fig. 2(b)는 Fig. 1의 C지점까지 고속의 1.2m/s로 유지한 후 제품부로 유입될 때 플런저의 속도를 5단계로 변화시킨 것이다. 최종 충전 이후에 가해진 압력은 1250bar로 동일하게 설정하였다.

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	1.2	1.2	0.3	0.3	1250
2	1.2	1.2	0.5	0.5	1250
3	1.2	1.2	0.7	0.7	1250
4	1.2	1.2	1.0	1.0	1250
5	1.2	1.2	1.2	0.3	1250
6	1.2	1.2	1.2	0.5	1250
7	1.2	1.2	1.2	0.7	1250
8	1.2	1.2	1.2	1.0	1250
9	1.2	1.2	1.2	1.2	1250
10	1.2	1.2	1.2	0.5	750
11	1.2	1.2	1.2	0.5	1150
12	1.2	1.2	1.2	0.5	1350
13	1.2	1.2	1.2	0.5	1550

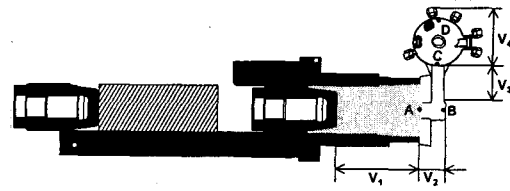


Fig. 1 Injection speed switching point

Fig. 3은 최종 충전 이후에 가해지는 압력의 변화를 나타낸 것이다. 반응고 다이캐스팅 공정에서 최종 충전 이후에 가압력 전달 시간이 지연되면 소재의 응고수축이 발생하여 금형과 소재 사이에 공극이 발생하게 된다. 이러한 공극은 제품의 치수 정밀도와 표면정도를 저하시키는 원인이 된다. 따라서, 최종 충전과 동시에 압력을 전달시켜 조직을 치밀하게 하고 금형 내부에 남아있는 공기를 에어벤트를 통해서 금형 외부로 완전히 유출되도록 하였다.

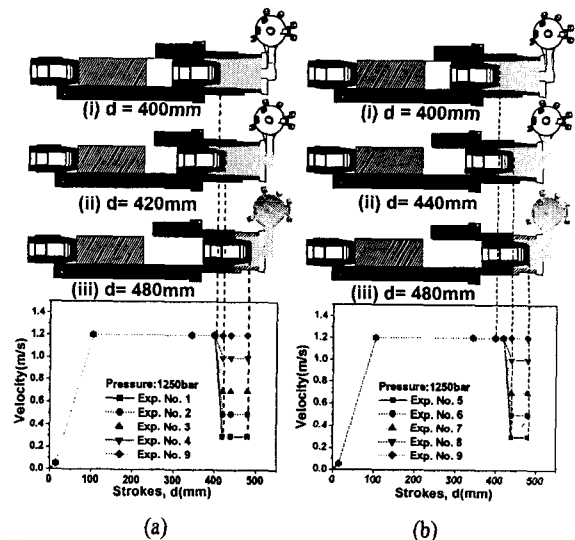


Fig. 2 The change of injection speed according to the stroke of plunger : (a) Exp. No. 1, 2, 3, 4 and 9 (b) Exp. No. 5, 6, 7, 8 and 9

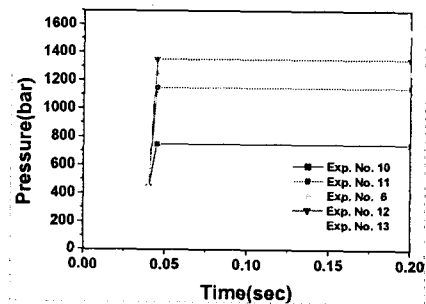


Fig. 3 The change of pressure after final filling

3. 반응고 성형실험 결과

3.1 미세조직

Fig. 4 (a)는 실험에 사용된 제품과 미세조직 관찰을 위한 측정위치를 나타낸 것이다. 실험에 사용된 제품은 원형으로 되어있으며, 두께 5mm의 박막으로 성형되도록 금형을 설계하였다. Fig. 4 (b)는 각각의 사출조건에 따른 기계적 성질을 파악하기 위해서 시편을 채취한 위치를 나타낸 것이며, 인장시편은 ASTM E 8M 판상시편 규격을 사용하였다.

성형 이후에 박막 부품을 퀀칭시켰으며, 항복강도의 향상을 위해서 T6 열처리하였다. 540°C에서 4시간 용체화처리 후 170°C에서 8시간의 시효경화 처리를 하였다.

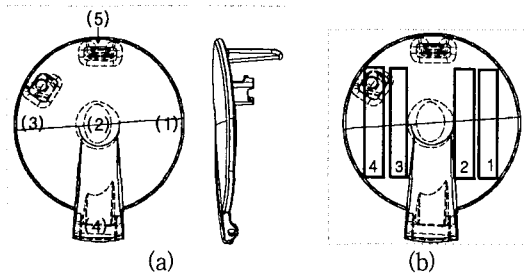


Fig. 4 (a) Experimental position to investigate the microstructures (b) Test piece position to investigate the mechanical properties

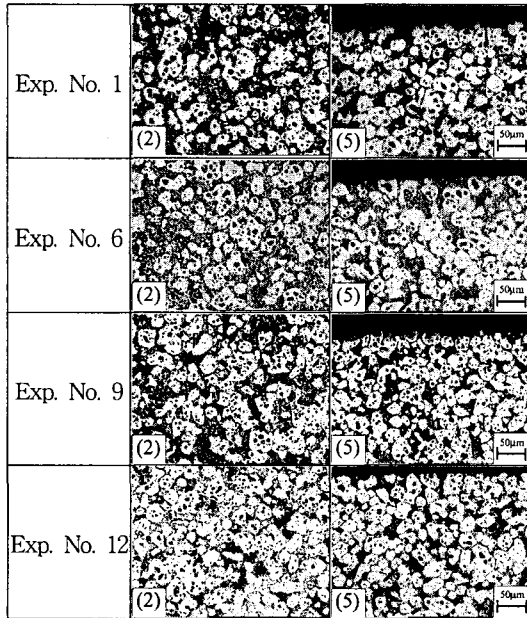


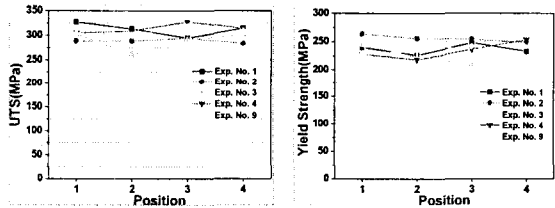
Fig. 5 Microstructures for A356 alloy to the change of injection velocity with T6 heat treatment

Fig. 5는 제품성형 이후에 Fig. 4 (a)의 측정위치에 따른 미세조직을 나타낸 것이다. Fig. 5에서 볼 수 있듯이 사출조건에 따라 미세조직은 큰 차이를 보이지 않았다. (2)의 위치에서는 제품상의 요철로 인하여 고상율이 다른 측정부위에 비하여 낮음을 관찰할 수 있다. 또한, 제품의 끝단부위 즉 (5)위치에서 미세기공이 분포하고 있음을 알 수 있다. 가압력의 변화에 따른 미세조직을 비교했을 때 가압력이 증가할수록 고상이 보다 치밀함을 관찰할 수 있으나 큰 차이는 보이지 않았다.

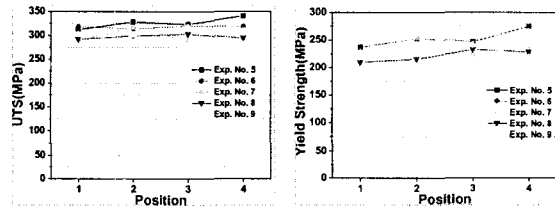
3.2 기계적 성질

사출조건에 따른 기계적 성질의 관계를 파악하기 위하여 인장실험을 하였다. 인장실험을 위한 시편채취 위치를 Fig. 4 (b)에 나타내었다. 실험은 20Ton MTS에서 행해졌으며, 인장실험속도는 1mm/min로 하였다.

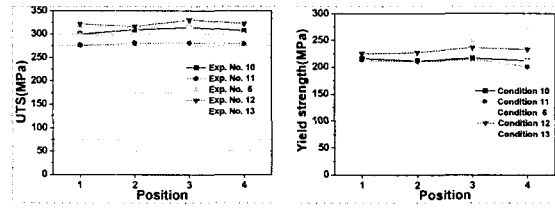
Fig. 6은 사출조건에 따른 인장강도와 항복강도의 분포를 나타낸 것이다. Fig. 6 (a)는 러너에서 속도를 변화시켰을 때의 인장강도와 항복강도이다. 인장강도의 분포는 러너에서의 속도의 증가나 감소에 따라 큰 차이를 보이지 않았다.



(a) Exp. No. 1, 2, 3, 4, and 9



(b) Exp. No. 5, 6, 7, 8, and 9



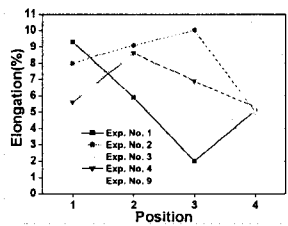
(c) Exp. No. 10, 11, 12, and 13

Fig. 6 Ultimate tensile strength and yield strength of to the injection conditions and positions after T6 heat treatment

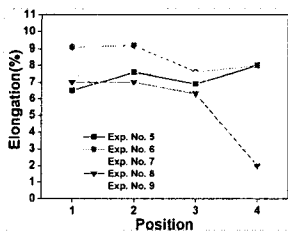
항복강도는 Exp. No. 1과 2일 때 다른 사출조건에 비하여 조금씩 높았다. 이것은 러너에서의 사출속도가 0.5m/s 이하에서는 0.7m/s 이상의 속도에 비하여 제품부 내로 유입된 소재의 유동상태가 층류성 거동을 유지할 수 있으므로 항복강도가 보다 높은 것으로 사료된다.

게이트에서의 속도를 변화시킨 경우에는 Fig. 6 (b)와 같이 사출속도의 증가에 따라 인장강도가 조금씩 감소하는 경향을 나타내었다. Fig. 6 (a)와 마찬가지로 사출속도가 0.5m/s 이하일 때 항복강도가 보다 높았다.

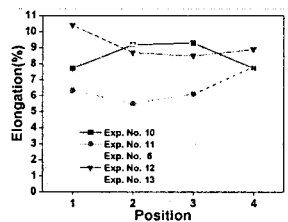
Fig. 6 (c)는 최종 충전 이후에 가압력을 변화시켰을 때의 인장강도와 항복강도의 분포를 나타낸 것이다. 가압력이 변하더라도 인장강도와 항복강도는 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 시험편의 두께가 5mm로 얇기 때문에 충전과 동시에 응고가 이루어지게 되어 응고시간이 짧기 때문에 가압력에 따른 차이가 적은 것으로 사료된다. 하지만, 후유부를 가지는 제품일 경우에는 충전과 동시에 응고가 이루어지더라도 응고시간이 지연되게 된다. 가압력이 작용하게 되면 미세조직을 보다 치밀하게 할 수 있으므로 기계적 성질이 향상될 것이다.



(a) Exp. No. 1, 2, 3, 4, and 9



(b) Exp. No. 5, 6, 7, 8, and 9



(c) Exp. No. 10, 11, 12, and 13

Fig. 7 Elongation to the injection conditions and positions after T6 heat treatment

Fig. 7은 사출조건에 따른 연신율의 분포를 나타낸 것이다. Fig. 7 (a)와 같이 러너에서 속도를 변화시켰을 경우에는 연신율이 균일하지 않음을 알 수 있다. 하지만 Fig. 7 (b)와 같이 게이트에서 속도를 변화시켰을 경우에는 보다 균일한 연신율의 분포를 보였으며, Fig. 6 (b)의 항복강도의 분포와 마찬가지로 게이트에서의 속도가 0.5m/s일 때 연신율이 보다 우수하였다. Fig. 7 (c)는 가압력에 따른 연신율을 나타낸 것이다. 인장강도, 항복강도의 결과와 마찬가지로 가압력은 연신율에 큰 영향을 미치지 않았다.

4. 결론

사출속도와 가압력의 변화에 따른 박막 부품의 반응고 성형실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 박막 부품의 반응고 성형공정에 있어서 사출속도의 변화에 따른 미세조직의 변화는 크지 않았지만 가압력이 증가할수록 고상이 보다 치밀하였다.
- (2) 사출속도와 가압력 변화가 인장강도에 미치는 영향은 크지 않았지만, 항복강도와 연신율에 있어서 러너와 게이트에서의 사출속도가 0.5m/s 이하일 때 재가열된 소재가 금형 내부에서 층류성 유동을 하기 때문에 보다 높은 항복강도와 연신율을 나타내었다.
- (3) 사출조건에 따른 실험결과를 바탕으로 반응고 다이캐스팅을 이용한 박막 부품설계에 필요한 기초 데이터를 확보하였다.

참고 문헌

- (1) Flemings, M.C., 1991, "Behavior of metal alloys in the semisolid state", Metall. Trans. A, Vol. 22A, pp. 947~981.
- (2) Garat, M., Maenner, L. and Sztur, Ch., 2000, "State of the art of thixocasting", the 6th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Turin, pp. 187~194.
- (3) Young, K. and Eisen, P., 2000, "SSM technological alternatives for different applications", the 6th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, Turin, pp. 97~102.
- (4) Loué, W.R., Brimont, M., Pluchon, C. Menet, P.Y. and Garat, M., 1995, "Metallurgical aspects of thixofforming of A356.0 and 357.0 alloys", Indianapolis, T95-113, pp. 389~396.