한국소성가공학회 2003년도 춘계학술대회 논문집 pp.61~64

Three Steps Die를 이용한 수평형 SSM 성형 공정

김예종*· 서판기*· 강충길**

Horizontal SSM Forming Process by the Three Steps Die

Y.J. Kim, P.K. Seo and C.G. Kang

Abstract

In the field of automobile industry, suspension parts have been fabricated by the light metal part to substitute the steel part. For application light metal of suspension parts, mechanical property of high strength was performed. For appling semi-solid die casting of suspension part, die filling and solidification simulation have been carried out with Ostwald-de Waele rheological model. We designed the optimal die and secured injection condition as possible as laminar flow based on the result of computer simulation. Mechanical properties of knuckle part and heat treatment condition were investigated.

Key Words : Semi-Solid Die Casting, Three Steps Die, Mechanical Property, Numerical Simulation, Laminar flow

1. 서 론

자동차 부품 중 서스펜션(suspension) 부품은 고강도의 높은 기계적 성질을 요구하는 부품이므로 현재까지는 철계 금속에 관한 적용이 이루어져왔다. 그러나, 경량화 자동차 생산을 위해 경량화 합금의 서스펜션 부품 적용에 관한 제조공정, 소재개발, 부품설계에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

경량화 소재의 서스펜션 부품의 제조공정에 있어서, 3단 금형(Three step die)을 이용한 Semi-solid 다이캐스팅 공법을 적용하여 주조공정 해석 및 기계적 성질 실험을 통해 안정된 제품 개발의 타당성을 검증하였다. 또한, Semi-solid 다이캐스팅 성형품의 열처리 변화에 따른 기계적 성질 향상을 도모하였다[2].

Semi-solid 다이캐스팅 공정에서 충진시 층류유동 유무는 주조품의 기계적 성질에 지대한 영향을 끼친다. 층류유동의 제어를 위해서는 게이트 형상, 사출속도, 점도의 제어가 기본적으로 이루어져야 하며, 실험의 어려움으로 인하여 실제 자동차 부품에서의 적용사례는 보고되지 않고 있다[3].

본 연구에서는 자동차 서스펜션 부품인 너클을 대상으로 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 사출속도별 층류/난류 유동의 유무를 파악하고자 한다.

2. 성형 해석

반용융 재료의 신뢰성 있는 공정해석을 위하여서는 유

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과
** 부산대학교 기계공학부

동 및 변형을 고려한 레오로지(rheology) 모델을 적용해야 한다. 일반적으로 레오로지 해석을 위해서는 수식이 간편하고 비교적 정도가 높은 결과 값을 얻을 수 있는 Ostwald-de Waele 모델을 이용하고 있으며, 본 연구에서도 Ostwald-de Waele 모델을 적용하여 해석하였다.

Ostwald-de Waele 모델에 사용되는 점성식은 식(1)과 같다[4].

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

여기서, η는 점도, ρ는 밀도, m은 Ostwald-de Waele 상수, $\dot{\gamma}$는 전단변형률 속도, n은 Ostwald-de Waele 지수이다.

일반적으로 Semi-solid 다이캐스팅 공정에서의 적정 사출속도는 0.2~1.2m/s로 알려져 있다. 그러나, 현재까지 실제 제품에 대한 사출조건의 D/B 확립은 미흡하며, 본 연구에서는 실제 제품에서의 Semi-solid 다이캐스팅의 적정 사출조건을 구함과 동시에, 성형 실험을 통한 검증을 수행하고자 한다.

본 연구에서는 Table 1의 주조해석 조건을 이용하여, Fig. 1과 같은 4가지 사출조건에 대한 해석결과를 수행하였다.

Table 1 Properties used to semi-solid die casting simulation by using A356 alloy

Parameters	Symbol	Unit	Values
Initial billet temp.	T_b	℃	583
Initial die temp	T_d	℃	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	Temp. dependent
Number of control volume	-	EA	1,807,014
Number of metal cells	-	EA	52,112

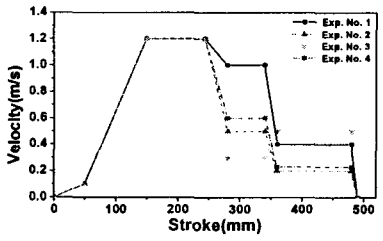
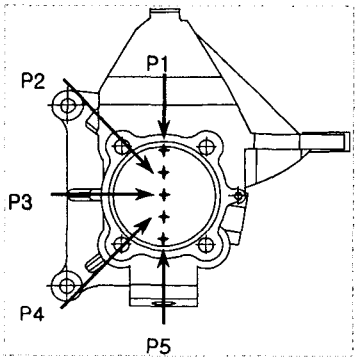
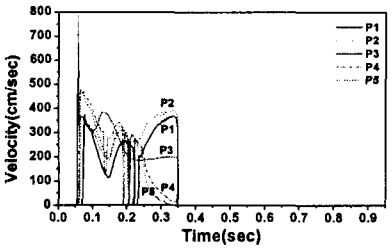


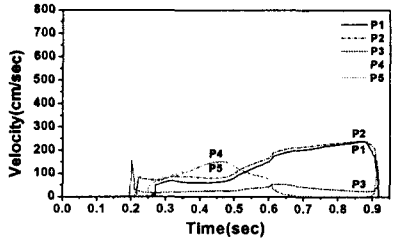
Fig. 1 The change of injection speed

Fig. 2는 인게이트(ingate) 상의 P1~P5점에 관한 4가지 사출조건에 관한 속도분포를 보여주고 있다. Fig. 2 (a)에서 0.2sec까지 게이트의 용탕이 완벽하게 채워지지 않아 국부적인 지점의 속도 분포가 zero로 나타나는 데드메탈 영역(dead metal zone)이 발생하였다. 데드메탈영역의 발생시 제품내 가스유입의 가능성이 매우 높아 불건전한 주물로 나타날 가능성이 크다. Fig. 2 (b)에서는 최종 충진완료 시간이 0.93sec로 충진진행시 빌렛의 온도감소로 인한 고 고상율로 인하여 유동의 흐름에 악영향을 끼칠 것으로 판단된다. Fig. 2 (c)에서는 0.24sec 부근의 게이트에서 제품부 충진시 속도차가 과대함으로 인하여 난류유동의 발생 가능성이 높다. Fig. 2 (d)의 경우는 최종 충진시간이 0.71sec로 최종 충진시간이 양호하며 각 지점별 속도분포의 차이도 제일 적어 4가지 사출조건 중 가장 양호한 결과를 보였다.

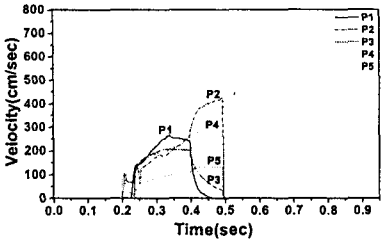




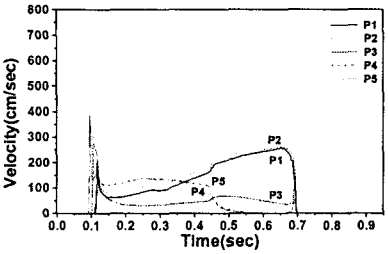
(a) Exp. No. 1



(b) Exp. No. 2



(c) Exp. No. 3



(d) Exp. No. 4

Fig. 2 Velocity distribution at each position in ingate

Fig. 3은 Exp. No. 4에 대한 인게이트 각 지점에서의 점도(viscosity)와 전단변형률(shear rate)의 관계를 나타낸 것이다. Semi-solid 다이캐스팅 공정에서 인게이트 부분의 층류 유동의 유무는 최종 제품의 기계적 성질에 절대적인 영향을 줌과 동시에, 적정 사출속도의 판단 근거가 된다. Fig. 3의 데이터를 바탕으로 레이놀즈수(R_e)를 도입하여 계산한 결과 $R_e \leq 2100$ 이하의 층류유동을 보였다.

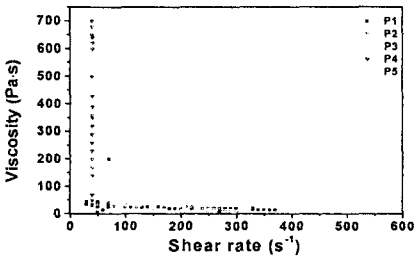


Fig. 3 Variations with shear rate of the viscosity at each position in ingate

Fig. 4은 Exp. No. 4의 충진분포에 대한 결과를 보여주고 있으며, 최종 충진 시간은 0.7069sec로 나타났다. 또한, 오버플로우(overflow)부가 최종 충진되는 양호한 충진 양상을 보이고 있다.

Fig. 4 The distribution of filling time

Fig. 5는 너클 부품의 응고거동에 관한 결과를 보여주고 있다. 최종 응고 시간은 38.1sec로 나타났으며, 제품부에서 런너부로의 방향성 응고가 이루어지고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5 The distribution of solidification time

Fig. 6은 응고 후 제품 내의 열점(Hotspot)의 분포에 관한 결과를 보여주고 있다. 후육부 부근에서의 열점 발생이 비교적 크게 나타났으며, 열점이 발생하는 부위에는 수축공이 발생할 가능성이 높다.

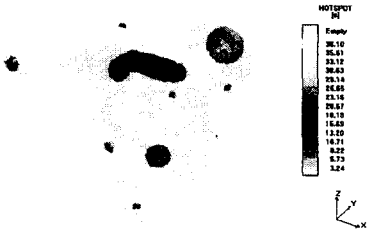


Fig. 6 The distribution of hotspot

3. 기계적 성질

본 연구에서 해석결과 값으로 구해진 적정 사출조건(Exp. No. 4)에 대해 성형을 하여, Fig. 7과 같이 각 부위별 기계적 성질을 측정하였다. 기계적 성질 측정에 사용된 시편은 ASTM E8M 규격을 적용하였다.

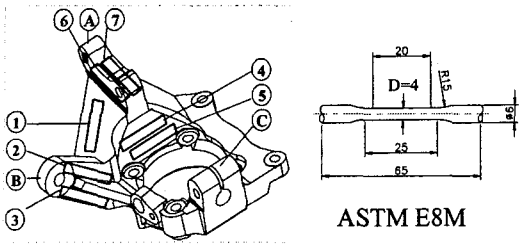


Fig. 7 Positions and standard of tensile specimen

Fig. 8은 열처리 전의 각 부위별 인장강도와 연신율의 분포를 보여주고 있다. 2번, 4번, 5번, 6번 부위에서 비교적 낮은 기계적 성질을 보였으며, 이는 해석상의 열점(hotspot) 분포와도 동일한 결과값을 보여준다.

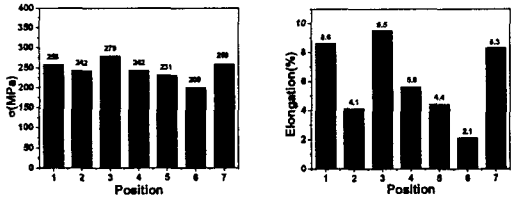


Fig. 8 Tensile test before heat treatment

Fig. 9은 T6 열처리(530℃ 3Hr, 160℃ 8Hr)후의 부위별 인장강도와 연신율의 분포이다. Fig. 8과 비교하여 각부위별 인장강도의 수치가 100MPa 상승하였으며, 열처리 전보다 비교적 균일한 값을 보였다. 또한, 연신율에서도 6.4%이상으로 열처리 전보다 균일한 수치로 나타났다.

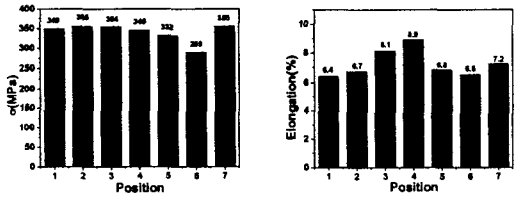


Fig. 9 Tensile test after heat treatment T6

Fig. 10은 각 부위별 열처리 전·후의 고상율 분포와 열처리 후의 각 부위별 Si 입자의 평균 지름을 나타낸 것이다. Si 입자의 평균지름은 3.2~4.7㎛로 비교적 불균일한 분포를 보이고 있다. 이는 열처리를 통해 공정 Si 입자들이 구형화 되었으나, 가압력 부족 및 재가열 동안의 불충분한 확산으로 인하여 Si 입자들이 고르게 분포되지 못한 것으로 보인다.

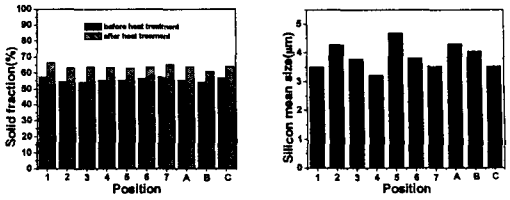


Fig. 10 Solid fraction and silicon mean size of knuckle

4. 결 론

본 연구에서는 자동차 서스펜션 부품인 knuckle 부품에 대한 Semi-solid 다이캐스팅 공정 해석과 성형된 제품의 기계적 성질을 평가하는 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 충전 및 응고해석을 통해 Semi-solid 다이캐스팅 부품의 적정 금형설계를 함으로써 결함이 없는 양호한 부품을 생산할 수 있었다.

(2) 사출속도와 점도를 구하여 레이놀즈수에 대입함으로써 층류 유동의 판단 근거를 확보할 수 있었다.

(3) 주조해석을 바탕으로 생산한 제품의 기계적 성질을 평가한 결과, T6 열처리를 통해 제품의 기계적 성질 향상을 도모할 수 있었다.

참 고 문 헌

(1) Ozawa, M., Hara M., Kawano K., Kaneuchi T., and Sakuragi H., 2001, "Development of Al alloy suspension parts by new semi-solid die casting", SOKEIZAI, Vol. 42, No. 12, pp. 13~18

(2) R. K. Zinn, J. Brevick, "The effect of heat treatment on semisolid metal A356.0 castings", Proceedings from materials solutions conference 98' on aluminum casting technology, Rosemont, Illinois, 12-15 October 1998, pp. 45~52

(3) 이재철, 석현광, 이호인, "탕구형상과 사출속도가 반용융 Al 합금의 유동거동에 미치는 영향", 대한금속재료학회지, Vol. 40, No. 2, pp. 189~196

(4) MAGMAsoft 4.1 User Manual, MAGMAthixo module, MAGMA, Aachen, 2001