

## AM50A 마그네슘합금의 레오로지 특성에 관한 연구

한수훈\*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 이준희(동아대 신소재화학공학과)  
강충길(부산대 기계공학부)

### A Study of Rheology Properties of AM50A Magnesium Alloy

S. H. Han(Mechanical and Precision Eng. Dept. PNU), J. H. Lee(Materials Science and Eng. Dept., DAU),  
C. G. Kang(Mechanical Eng. Dept., PKU)

#### ABSTRACT

In this study, the effect of the temperature of magnesium slurry was investigated by mechanical stirring method. The evaluations of rheological behavior of AM50A magnesium alloy were measuring of viscosity and microstructures in the semisolid state. The apparent viscosity was investigated at continuous cooling rate using a concentric cylinder viscometer. Measurement of viscosity measures torque that act to stirrer rotating in slurry doing continuous cooling using torque-meter and expressed by POWER-LAW. Microstructures were observed after mechanical stirring that enforce time at steady state temperature of solid fraction.

**Key Words :** Semisolid(세미솔리드), Rheology(레오로지), Mechanical stirring; Viscosity(기계적교반)

#### 1. 서론

반용융 재료는 고액공존상태로 인하여 고체 혹은 액체의 단일상으로 구성된 경우에 비하여 매우 특이한 유동흐름을 나타내게 되며, 저고상율일 경우 고체변형 특성은 존재하지 않고 비뉴토니안(Non-Newtonian) 유체거동을 나타내지만, 고상율이 증가할수록 고체변형과 액상유동의 복합적인 레오로지(Rheology) 특성이 나타날 뿐 아니라, 온도나 변형속도 등 동일한 외부조건 하에서도 초기 조직 상태에 따라서 다른 유동흐름을 나타내게 된다.[1~4]

반용융 재료의 레오로지 특성은 제품제조를 위한 금형설계와, 금형설계의 CAE 해석을 위한 물성 data, 레오로지 Die-casting 및 단조에 이용된다. 반용융 재료의 레오로지 특성은 1970년대부터 Joly와 Mehrabian[5]에 의해 연구가 이루어졌으며, Flemings[6]는 Sn-15%Pb 합금을 이용하여 고상율과 전단변형율속도의 점도에 관한 영향을 측정하여 고상율의 영향은 지수함수로, 전단변형율속도의 영향은 승수법(Power-law)으로 각각 표현하였다.

Hirai[7] 등은 전단변형율속도, 고상율 및 냉각속도의 함수로 점도모델을 제안하였다.

Kang[8] 등은 금형과의 열전달현상을 고려한 온도변화를 해석하기 위하여 온도에 따른 재료의 열보기 점도를 구하는 식을 제안하였다.

이상의 연구결과에서 보이듯이, 점도와 온도와의 관계에서 Mg 합금의 점도가 미세조직에 어떠한 영향을 미치는가에 대한 연구 결과는 충분하지 않다.

따라서 본 연구에서는 AM50A magnesium alloy에 대하여 온도에 따른 점도를 조사하여, 레오로지 소재의 die-casting 및 단조 성형의 금형설계 및 CAE 해석에 활용하고자 한다.

#### 2. 실험

본 연구에서 사용한 실험장비는 고주파유도 가열기(15kW)와, 고주파유도가열기를 냉각하는 냉각기, magnesium alloy를 용해하는 SUS 재질의 도가니와, SUS 재질의 stirrer를 회전시키기 위한 DC motor, 회전력 측정을 위한 torque transducer로 구성되어 있으며, 도가니는 소재 투입과 제거를 위하여 상하로 움직일 수 있도록 장치되어 있으며, stirrer 또한 상하로 움직일 수 있도록 장치되어있고, Fig. 2에 보였다.

이에 대한 process를 Fig. 1에 보였다.

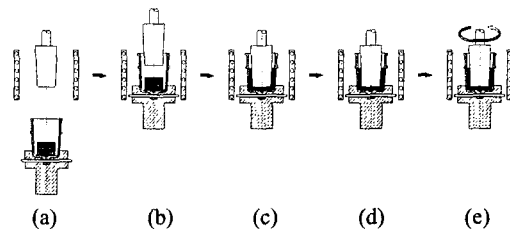
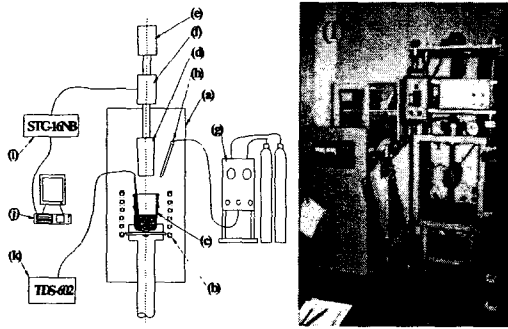


Fig. 1 The schematic of experimental process (a)pre-heating (b)melting (c)resting (d)cooling (e)stirring



(a)chamber (b)induction coil (c)crucible (d)stirrer (e)DC-motor (f)torque-transducer (g)protection gas mixing unit (h)protection gas nozzle (i)STC-16NB (j)data processing computer (k)TDS-602 (l)apparent view of equipments

Fig. 2 The view of experimental equipments

### 3. 실험결과

점도의 측정은 고정된 도가니와 회전하는 stirrer 사이의 용탕이 받는 torque 를 측정하여 회전하는 stirrer 의 shear rate 와의 함수로 Eq. (1), (2), (3) 로 구하게 된다.[7]

$$\dot{\gamma} = \frac{2r_1 r_2 \Omega}{(r_2^2 - r_1^2)} \quad (1)$$

$$\eta_a = \frac{(r_2^2 - r_1^2)G}{4\pi r_1^2 r_2^2 \Omega L} \quad (2)$$

$$\eta_a = a \times T^b \quad (3)$$

$\dot{\gamma}$ : shear rate( $s^{-1}$ )

$\eta_a$ : apparent viscosity of semi-solid alloy(Pa · s)

G: stirring torque(N.m)

L: geometric immersion depth of stirrer in liquid alloy(m)

$r_1$ : stirrer radius(m)

$r_2$ : crucible radius(m)

$\Omega$ : stirring angular speed(rad ·  $s^{-1}$ )

T: temperature ( $^{\circ}C$ )

이에 대한 결과를 Fig. 3 에 보였다.

### 4. 결론

(1) Apparent viscosity 는 액상의 용해된 상태에서 냉각에 의하여 solid fraction 이 증가하고, apparent viscosity 도 증가함을 알 수 있었다.

(2) Apparent viscosity 는 solid fraction 온도에 대하여 승수법(POWER-LAW)로 표기할 수 있으며, 지수로 표현되는 값은 apparent viscosity graph 의 기울기를 의미함을 알 수 있었다.

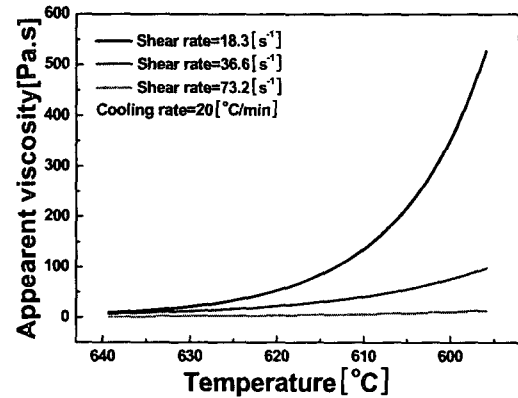


Fig. 3 Effect of solid fraction on apparent viscosity

### 후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. C. G. Kang and J. S. Choi, 1998, Effect of Gate Shape and Forging Temperature on The Mechanical Properties in The Injection Forging Process of Semi-Solid Aluminum Material, Journal of Materials Processing Technology, 73, pp. 251~263.
2. G. Chiarmetta, 1996, Thixoforming of Automobile Components, Proceedings of the 4<sup>th</sup> Int. Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites. pp 204~207.
3. C. Y. Chen, J. A. Sekhar, D. G. Backman, Mehrabian, 1979, Thixoforging of Aluminum Alloy, Materials Science and Engineering, Vol. 40, pp. 265~272.
4. M. Kikichi, S. Sugiyama, 1992, A new Process to Manufacture Semi-Solid Metals, 2<sup>nd</sup> Int'l Conf., on the Processing of Semi-Solid Alloys and Composites MIT, pp. 47~56.
5. P. A. Joly and R. Mehrabian, 1976, The rheology of a partially solid alloy, Journal of Maerials Science. Vol. 11, pp. 1393~1418.
6. M. C. Flemings, 1991, Behavior of Metal Alloys in the Semi-Solid State, Metallurgical Transactions, Vol. 22A, pp. 957~981.
7. M. Hirai, K. Takebayashi, Y. Yoshikawa and R. Yamaguchi, 1993, Apparent Viscosity of Al-10mass%Cu Semi-solid Alloys, ISIJ International, Vol. 33, No. 3, pp. 405~412.
8. C. G. Kang and Y. C. Lee, 1999, Effect of Viscosity Variation on Flow Characteristic in Thixoforming Process of Semi-Solid Aluminium Alloys, Transaction of Materials Processing, Vol. 8, No. 2, pp. 188~199.