한국소성가공학회 2005년도 추계학술대회 논문집 pp. 340~343

간접가압방식에 의한 전자교반응용 암 부품 개발

고재홍[1]· 서판기[1]· 강충길#

Development of Arm Part by Indirect Press Process with Electromagnetic Stirring Application

J. H. Ko , P.K. Seo, C. G. Kang

Abstract

This paper focuses on an rheo-forming of arm part fabricated by electromagnetic stirring system (EMS). This forming process take place under high pressure of high pressure die casting and thin walled casting is possible. Also the productivity is better than low pressure die casting because of shorter cycle time. The advantages of rheo-forming are performed in the semi solid state with laminar flow and the gas content is low, which makes welding possible. Therefore this research applies for arm part with EMS and has investigated the mechanical propriety after T6 and T5 heat-treatment.

Key Words: Rheology Forming, Arm Part, Electromagnetic Stirring, Image Analysis

1. 서 론

최근 자동차 및 산업용 부품의 경량화에 따른 연비 향상 및 오존층 파괴, 지구온난화 그리고 산성비 등을 포함하는 지구 환경문제를 개선하기 위하여 자동차 및 산업용 부품을 주철에서 알루미늄으로 전화하고자 하는 경량화 부품 연구가 활발히 이루어지고 있다[1]~[3]. 하지만 제품 성형공정에서 발생되는 알루미늄 조직의 수지상정 조직 및 액상편석으로 기계적 물성치가 균일하지 못하기 때문에 고기능성 부품 개발에 많은 어려움이 있다. 따라서 이러한 낮은 기계적 물성치를 해결하기 위하여 전자교반시스템을 이용하여 고강도를 요구하는 경량화 자동차 부품을 생산할 수 있는 전자교반 성형기술 요구되고 있다[4]~[6].

기본적인 전자교반을 이용한 성형법은 용융금속을 응고초기단계에서 강력하게 교반하여 응고중에 발생되는 수지상 조직을 구형에 가까운 미세한 초정 고상입자로 만들어 공정 내에 균일하게 분산시킨 후 고액공존의 슬러리 상태로 만들어 금형 캐비티 속으로 사출실린더를 이용하여 제품을 충전시키는 성형법이다.

따라서 본 연구에서는 전자교반시스템을 이용하여 저압주조기의 단점을 보완하기 위하여 개발한 장비를 이용하여 고상율과 결정립을 제어하면서 경량화 제품을 개발할 수 있는 새로운 성형방법을 제시하고자 한다.

2. 실 험

2.1 사출된 부품성형의 미세조직관찰

본 연구에서는 현재 산업용으로 많이 사용되고 있은 A356 소재를 이용하여 전자교반시 A356 합금의 초정입자의 크기, 분포상태, 구상화 조직과 전류, 교반시간과의 관계를 규명하였으며 전자교반기술을 암 제품 성형공정에 적용하여 실험적 데이터를 구축하고자 하였다. Fig. 1 은 본 전자교반 성형실험의 개략도를 나타낸 그림이다.

1. 부산대학교 정밀기계공학과 대학원
교신저자: 부산대학교 기계공학부 , cgkang@pusan.ac.kr.

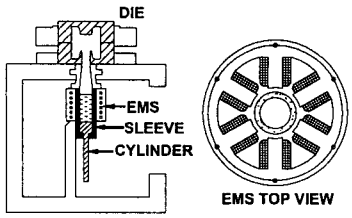
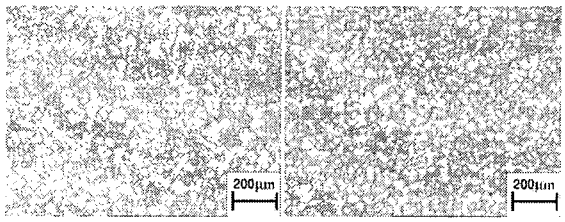


Fig. 1 Schematic diagram for casting with EMS

Fig. 2 는 전자교반하여 성형한 암 제품과 전자교반하지 않고 성형한 암 제품의 미세조직을 비교한 것이다. 전자교반을 하지 않고 성형한 암 제품은 일반적인 주조조직인 수지상 조직이 관찰되고 초정과 공정 조직이 불균일하게 분포되어 있다. 그러나 전자교반을 하여 성형한 암 제품의 조직은 미세한 초정조직이 구상화 되어 공정조직에 고루 분포되었다.



(a) Without stirring (b) A: 100 ; t_s: 15sec

Fig. 2 The comparison of the microstructure with and without stirring

2.2 사출조건이 부품성형에 미치는 영향

Fig. 3 은 전자교반 성형장비에서 성형조건에 따른 암 제품의 사진이다.

300 bar 의 사출압력과 0.2 m/s 의 사출속도로 성형한 암 제품은 저속의 충전속도로 인하여 슬리브에서 금형으로 충전되는 동안 용탕의 응고로 인하여 제품부에 미성형이 발생하고 충전압력이 전달되지 않았기 때문에 표면이 양호하지 않았다. 제품의 사출속도를 0.2 m/s 에서 0.3 m/s 로 증가시켜 실험한 결과 미성형이 발생되지 않았으며 제품의 표면상태도 양호한 것으로 관찰되었다. 사출속도를 0.3 m/s 에서 0.5 m/s 로 증가시켜 실험한 결과 고속 충전으로 인하여 금형 파팅 부분으로 용탕의 비산이 발생되었으며 제품 표면 또한 양호하지 못한 결과를 얻을 수 있었다.

성형압력의 영향을 관찰하기 위하여 성형압력을 450 bar 로 증압한 결과 사출압력이 높을수록 표면 상태는 양호해지는 결과를 얻을 수 있었다.

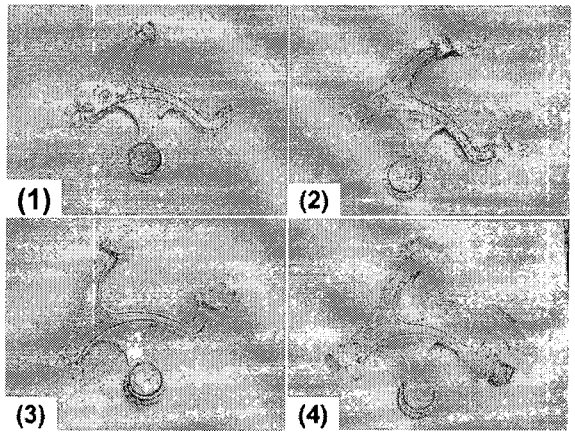


Fig. 3 Photographs of lower arm part according to velocity and pressure : (1) 0.2 m/s, 300 bar ; (2) 0.3 m/s, 300 bar; (3) 0.3 m/s, 450 bar; (4) 0.5 m/s, 450 bar

Fig. 4 는 전자교반시간에 따른 성형된 암 부품의 성형이 어려운 제품 끝단부위 10 부분에서의 평균 등가지름, 평균 구상화정도을 조사하여 나타낸 것이다.

조직관찰 결과 100 A 의 교반전류를 교반시간 5 sec , 10 sec, 15 sec 의 전자교반시간이 증가 할수록 초정입자의 크기가 미세화되고 구상화 됨을 관찰할 수 있었다. 그러나 교반시간이 15 sec 이상의 교반시간에서는 슬리브 내에서 용탕의 응고로 인하여 제품의 미성형이 발생하여 암 제품 성형을 위한 교반시간은 15 sec 내에서 강력하게 교반한 뒤 성형하는 것이 미세하고 구상화된 조직을 얻을 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

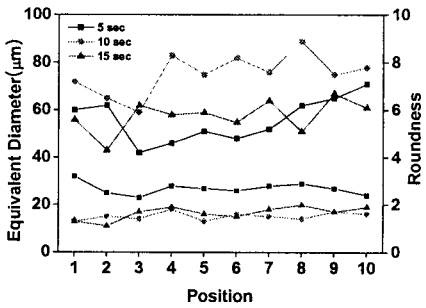


Fig. 4 Equivalent diameter at each position according to stirring time during electromagnetic stirring (C:`100 A)

Fig. 5 은 교반전류에 대한 암 제품의 미세조직을 비교 관찰하기 위해서 교반전류를 40 A, 60 A, 100 A 로 15 sec 동안 교반한 암 제품의 등가지름 및 구상화 정도를 측정한 결과이다. 등가지름 및 구상화 정도를 측정한 결과 40 A. 60 A, 100 A 의 전류에서 40μm ~ 80μm 의 미세한 초정입자를 얻을 수 있었으며 그 결과 교반전류가 등가지름 및 구상화 정도에는 큰 영향을 주지 못하는 것을 알 수 있었다. 이것은 교반전류가 40 A 에서 이미 전자교반력에 의하여 수지상 조직이 파쇄되었으며 교반전류를 점점 더 증가할수록 이미 파쇄된 수지상 조직들이 재결합되는 현상으로 사료된다[7]~[8]. 그리고 전자교반에 의하여 이미 파쇄된 초정입자들이 금형 내부로 충전되는 동안 구상화된 입자들이 재결합 또는 성장으로 인하여 최종 제조된 암 부품의 각 위치에 대한 구상화 정도는 큰 차이가 없음을 알 수 있으며 금형 캐비티 내부로 충전 후 취출되는 동안에 금형의 온도와 퀜칭온도에 크게 영향이 있는 것으로 사료된다.

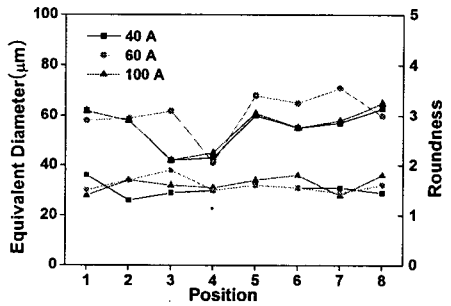


Fig. 5 Equivalent diameter and mean roundness at each position according to stirring current (t_s: 15 sec)

Fig. 6 은 기계적 물성치 값을 조사하기 위하여 인장시편을 채취한 위치를 나타낸 것이다. (1) ~ (2) 과 (5) ~ (6) 위치는 양쪽 부쉬부와 인접한 위치이고, (7) ~ (8) 위치는 후육부가 있는 부분이며, (3) ~ (4) 위치는 게이트와 가까운 위치이다. 인장시편은 ASTM E 8M 봉상규격을 사용하였으며, 표점거리는 20 mm, 직경은 4 mm 이다. 인장실험은 25 Ton MTS 장비를 사용하였고, 표점거리 내의 변형율을 정밀하게 측정하기 위해서 변위계를 부착하여 1 mm/min 의 속도로 실험하였다.

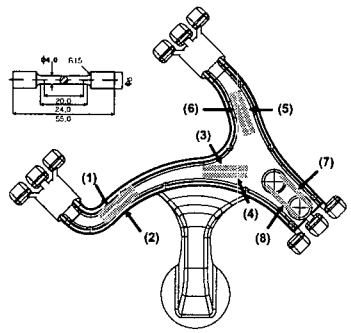


Fig 6 Experimental position to investigate the mechanical properties

기계적 물성치를 측정한 결과 전자교반을 하지 않고 성형한 암 제품보다 전자교반을 하여 성형한 암 제품이 더 높은 기계적 물성치를 얻을 수 있었으며 (Table 1) 60 A 의 높은 전자교반전류 보다는 40 A 의 교반전류에서 더 높은 기계적 물성치를 얻을 수 있었다.

Table 1. The mechanical properties of arm part with and without stirring according to each condition

P (MPa)	V (m/s)	C (A)	T_s (sec)	Heat treatment condition	Elongation (%)		YS (MPa)		UTS (MPa)	
					max	ave	max	ave	max	ave
450	0.3	0	0	T6 (4Hr at 520℃ 8Hr at 160℃)	6.9	5.1	-	-	215	194
450	0.5	0	0	T6 (4Hr at 520℃ 8Hr at 160℃)	6.4	3.9	-	-	250	201
450	0.3	40	**10**	T6 (4Hr at 520℃ 8Hr at 160℃)	8.1	6.5	300	167	332	232
450	0.3	40	**20**	T6 (4Hr at 520℃ 8Hr at 160℃)	6.2	5.07	360	308	456	361
450	0.3	**60**	10	T6 (4Hr at 520℃ 8Hr at 160℃)	6.4	5.54	298	243	345	301
450	0.3	**60**	20	T6 (4Hr at 520℃ 8Hr at 160℃)	6.8	5.37	212	273	317	318
450	0.3	60	**10**	T5 (8 Hr at 170℃)	8.5	5.52	209	228	315	287
450	0.3	60	**20**	T5 (8 Hr at 170℃)	9.8	5.14	180	272	291	230

이러한 결과는 강력한 교반력에 의하여 전자교반 동안 용탕내부로 공기의 유입 또는 산화물 등이 혼입이 되어 기계적 물성치에 큰 영향을 주는 것으로 사료된다.

3. 결 론

A356 합금을 사용하여 전자교반 기술을 성형공정에 적용하여 암 부품을 성형한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 전자교반 실험에서 655 ℃ 의 용탕온도를 60 A 의 교반전류를 60 sec 동안 교반하여 제작한 시편을 관찰한 결과 미세하고 구상화된 초정입자를 얻을 수 있었으며 공정 내에 미세한 Si 입자들이 고루 분포하였다.

(2) MAGMAsoft 를 사용하여 암 제품의 충전 및 응고 해석을 하였으며 해석결과를 바탕으로 주조결함을 미리 예측함으로써 최적화된 금형 설계 방안을 마련 하였다.

(3) 40 A 의 교반전류를 10 sec 동안 교반하여 성형한 제품에서 연신율 8.1 % , 항복강도 300 MPa, 인장강도 332 Mpa 의 높은 기계적 물성치를 얻을 수 있었으며 전자교반을 하지 않고 성형한 암 제품에 비하여 전자교반공정을 거쳐 성형한 제품에서 연신율은 6.9 % 에서 8.1 % , 인장강도 215 Mpa 에서 332 Mpa 의 더 높은 기계적 물성치 값을 얻을 수 있었다. 그러나 전자교반시 강력한 교반력에의한 용탕의 회전으로 공기가 유입이 되어 제품의 기계적 성질을 저하시키는 요인이 되었다.

(4) 미세조직과 인장강도와의 관계를 관찰한 결과 미세한 초정입자와 균일한 공정조직을 가진 암 제품이 더 높은 기계적 물성치를 나타내었다.

후 기

본 연구는 과학기술부 지원하의 국가지정연구실 – Thixo Rheo 성형연구실 (NRL) – 사업과 (주) 동서기전의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

(1) O. Shinobo, 1994, Research activities in rheo technology Ltd., Pro. 3rd Conf. on the processing Semi~Solid Alloys and Composite, Institute of Industrial Science University of Tokyo, Japan, pp 7~18

(2) C.G. Kang, P.K.Seo and Y.P. Jeon, 2005, "Thixo Die-casting Process for Fabrication of Thin~type Component with Wrought Aluminum Alloys and its Formability Limitation", Journal of Materials Processing Technology, vol. 160, pp. 59~69

(3) K. Sukumaran, B. C. Pai and M. Chakraborty, 2004, "The Effect of isothermal mechanical stirring on an Al~Si alloy in the semisolid condition", Mater. Sci. Eng. Vol. 369, pp. 275~283.

(4) 강충길, 서판기, 손영익, 2002, "반용융 다이캐팅공정에 있어서 속도 제어방법이 제품의 특성에 미치는 영향", 대한기계학회 논문집 A, 제 26 권, 제 10 호, pp. 2034 ~ 2043.

(5) 조강래, 김정호, 김경민, 윤의박 "전자교반에 의해 제조된 Al-4.5 wt %Cu 합금의 재가열 시 조직변화에 관한 연구", 대한금속학회지, Vol. 37, No. 10, pp. 1213~1218.

(6) M.C. Flemings, 1991, "Behavior of Metal Alloys in the Semisolid State", Metallurgical Transactions A, Vol. 22A, pp. 957~980.

(7) D. A. Pinskky, P. O. Charreyron, 1993, Alternate Reduce Weight in Automotives, Advanced Materials and Process, Vol. 6, pp. 146~147

(8) 강효경, 천병욱, 최창옥, 1993 "AC4C 합금의 기계적 성질에 미치는 주조조건과 열처리의 영향에 관한 연구" 한국주조공학회 제 13 권, 제 5 호, pp. 64~75.