

Thixoforming 공정에서 Si의 크기가 대형 suspension 부품의 기계적 성질에 미치는 영향

신현기*(부산대 대학원 정밀정형협동과정), 서판기*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 박계주*(부산대 대학원 정밀기계공학과), 강충길***(부산대 기계공학부),

The effect of the size of the Si on mechanical properties of large suspension part in thixoforming process

H. K. Shin (Dept. of Mechanical and Precision Eng. Pusan National University), P. K. Seo (Dept. of Mechanical and Precision Eng. Pusan National University), K. J. Park (Dept. of Mechanical and Precision Eng. Pusan National University), C. G. Kang (School of Mechanical Eng. Pusan National University)

ABSTRACT

In thixoforming process, the size of Si particles is changed by many parameters of forming. Especially, reheating and heat treatment are very important parameters. It was found that the mechanical properties was significantly improved by the thixoforming process. In this study, to investigate the relation between the mechanical properties and Si particles, the experiment of semi-solid die casting has been performed. Large suspension part with A356 alloy was fabricated with controlled ram speed. The effect of the size and shape of silicon particles on microstructure of tensile test has been investigated.

Key Words : Thixoforming(반응용성형), Reheating(재가열), Si particle(실리콘입자), Heat treatment(열처리)

1. 서론

알루미늄 소재를 이용한 자동차 부품의 경량화를 위하여 용탕단조, 단조, 주조/단조, 저압주조, 반응고 다이캐스팅들이 이용되고 있다. 각 공정마다 장단점이 있지만 대형 suspension 부품의 경우 반응고 다이캐스팅 공정이 품질면에서 가장 유력한 방법으로 알려져 있다. 기존의 주조/단조 공정이 가지는 단점을 최소화하면서 두 공정의 장점을 극대화 할 수 있는 반응고 금속 성형기술(semi-solid metal forming)은 액체상태에서 성형하는 다이캐스팅이나 스퀴즈 캐스팅에 비하여 점도가 높은 상태에서 성형을 하여 주조 시 많이 발생하는 기공, 산화층 등의 결함을 줄여 기계적 성질을 향상시킨다. 고체상태에서 성형하는 단조에 비해서 낮은 하중에서 가능하여 복잡 형상을 갖는 난성형 소재의 near-net-shape 성형이 가능하다. 이로 인해 에너지 절약, 원자재 절약 및 고능률성과 제품의 설계내구성을 크게 높일 수 있어 여러 분야에서 각광을 받고 연구되어져 오고 있다[1][2].

반응고 다이캐스팅의 핵심기술은 금형설계기술로써 제품의 기계적 성질과 결함 등에 크게 영향을

미친다. 또한 조업중 충전거동과 사출속도 사이의 관계가 제품의 기계적 성질에 크게 영향을 미친다.

현재까지 반응고 연구의 대부분은 재가열에 따른 구상화의 크기변화, 수치 시뮬레이션, 및 기초물성 D/B 등이 대부분이다. 반응고 성형품 즉, 대형 suspension 부품의 기계적 성질에 영향을 미치는 요소 중에 Si 입자 특히, 공정조직내의 Si 입자의 크기는 재가열 공정, 열처리 조건 등으로 제어가 가능하다. S. Knmai[3] 등은 재가열 온도와 가압력과 열처리 변화에 따른 Si 입자와 기계적 성질사이의 관계에 대해 연구하였다. R. K. Zinn[4] 등은 반응고 성형품에 대하여 열처리 변화(T5, T6)에 따른 기계적 성질의 향상에 대해 조사했다. 반응고 다이캐스팅 공정을 대형 제품개발에 적용하여, 각 공정변화와 열처리 수행여부 등이 기계적 성질에 미치는 영향을 조사한 연구결과는 보고 되지 않고 있다. 최근에는 성형공정변수에 따른 최종품의 미세조직 및 상변화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 성형품에 대한 기계적 특성이나 Si 크기제어에 관련된 연구는 부족한 편이다.

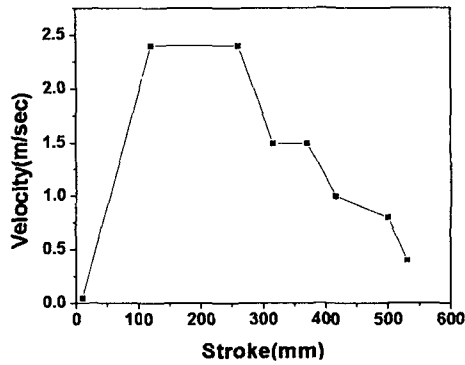
따라서 본 연구에서는 반응고 성형품의 기계적 성질에 영향을 미치는 요소인 사출조건, 재가열 조

건, 금형 구조, 열처리 유무 등의 조건들에 대해 성형품들의 기계적 성질과 미세조직 조사, 고상을 분포, Si 입자의 평균 지름을 조사하였다.

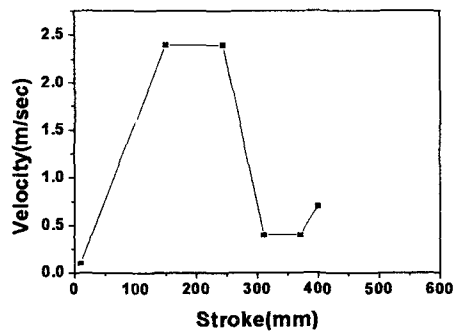
2. 실험

본 연구에서는 스위스 SAG사에서 제조된 반응고 A356 합금(Al-7Si-0.6Mg) 소재를 이용하여 성형된 제품에 대해 비교 분석을 하였다. 성형된 샘플(sample)을 3가지로 구분하였다. 샘플 A, B, 와 C는 각각 미완제품으로써 열처리를 수행한 것, 완제품으로써 열처리를 수행하지 않은 것, 그리고 완제품으로써 열처리를 수행한 것으로 구분을 하였다. 이때 열처리조건은 T6(530℃ 3Hr, 160℃ 8Hr)이다.

2.1 성형공정변수



(a) Sample A



(b) Sample B, C

Fig. 1 The cast curve between sample A and sample B, C

샘플 A와 B, C에 대한 사출 조건을 Fig. 1 비교, 도식화 하였다. Fig. 1(a)는 여덟 단계로 사출속도를 변화시켜 공정을 수행하였으며, Fig. 1(b)는 여섯 단계로 사출속도를 변화시켜 공정을 수행하였다.

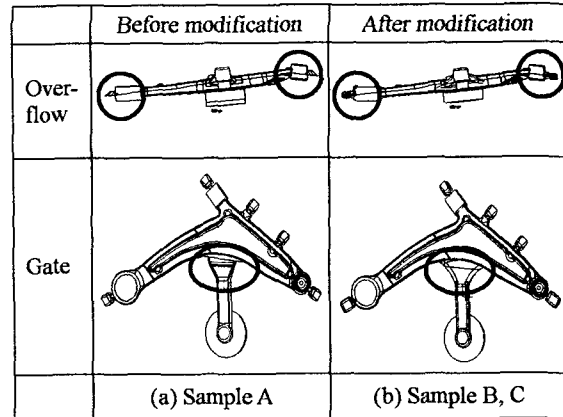


Fig. 2 The modification of gate and overflow position

Fig. 2(b)는 Fig. 2(a)인 샘플 A의 기계적 특성 개선을 위해 게이트(Gate)와 오버플로우(Overflow) 부위를 수정, 변경한 모델이다. 이렇게 수정, 변경한 이유는 샘플 A에서 미성형, weld line 존재, 산화층, 가압력의 부족 등의 결함으로 인하여 기계적 특성이 개선되지 않았기 때문이다. 샘플의 게이트 부위의 단면적을 1387 mm²에서 2016 mm²로 수정을 하였다. 오버플로우 부분도 형상과 체적에 대해 수정을 하였다.

2.2 미세조직 관찰

Fig. 3은 미세조직관찰과 인장시험 채취를 위해 부위별로 위치를 표시한 도면이다. 샘플 별로 7, 8, 9번 부위에 대해 미세조직을 관찰하였다.

Fig. 4~6에서는 샘플별로 Image Analysis를 이용하여 미세조직을 관찰한 것이다. 배율은 50, 200, 500 배로 각 부위를 측정하였다. 50 배와 200 배는 조직의 구상화 정도와 고상을 측정하기 위한 것이고, 500 배는 Si 입자의 평균지름을 측정하기 위해 사용되었다.

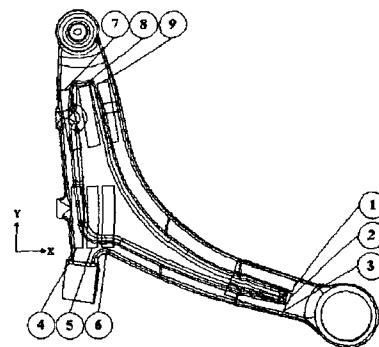


Fig. 3 The positions for observing microstructure and tensile test

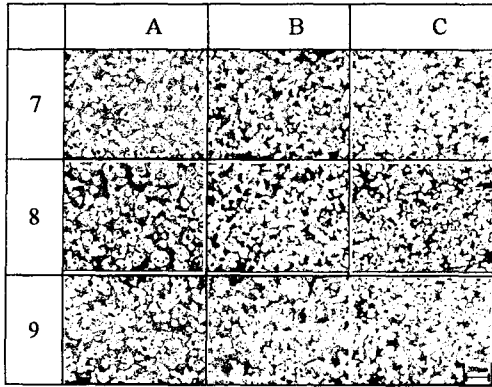


Fig. 4 Microstructure of sample A, B, C
[A: H.T, B: without H.T, C: H.T(T6)]

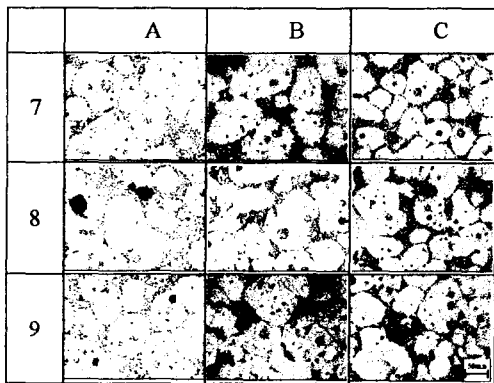


Fig. 5 Microstructure of sample A, B, C
[A: H.T, B: without H.T, C: H.T(T6)]

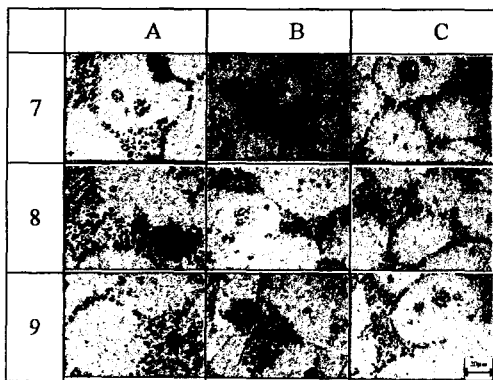


Fig. 6 Microstructure of sample A, B, C
[A: H.T, B: without H.T, C: H.T(T6)]

2.3 인장시험

성형된 제품에서 Fig. 3에 표시되어있는 위치와 같은 부위에 대하여 인장시편을 제작하였다.

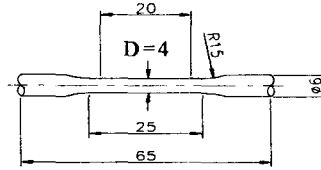


Fig. 7 The size of tensile test specimen

인장시험은 MTS 사의 재료시험기를 이용하였으며, 인장시편의 치수는 Fig. 7에 나타나 있는 바와 같이 ASTM E 8M 규격대로 제작하였다. 인장시험 시 변형률 속도는 $0.0005s^{-1}$ 로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 인장강도와 연신을

미세조직관찰을 실시한 부위와 동일한 위치에서 인장시편을 제작하여 실험을 한 결과가 Fig. 8~10에 나타나 있다. 샘플 A는 B, C에 비해 부위별로 불균일한 결과를 보였다. 위의 원인은 Fig. 2(a)에 나타나 있듯이 가압력의 부족, 게이트와 오버플로우 부위의 형상 부족 등으로 인하여 기공과 산화물들이 제품 내로 투입되어 제대로 빠져나가지 못하고 잔존하였기 때문이다.

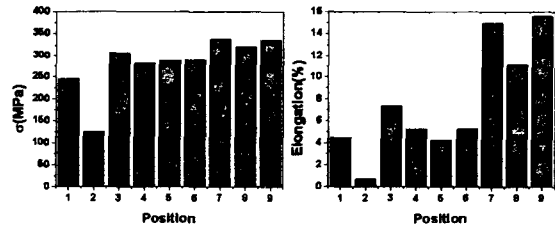


Fig. 8 The graph of UTS and Elongation on sample A

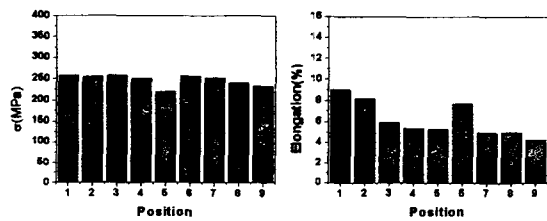


Fig. 9 The graph of UTS and Elongation on sample B

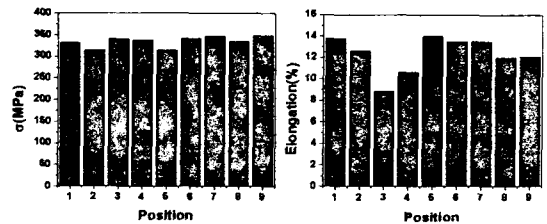
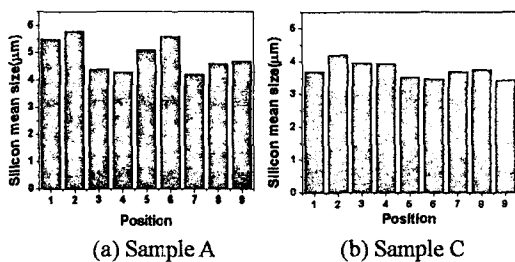


Fig. 10 The graph of UTS and Elongation on sample C

Fig. 4-6의 미세조직사진에서도 비교를 할 수 있다. 샘플 B와 C는 열처리 전과 후에 대한 기계적 성질을 비교를 하였다. 두 샘플 모두 다 균일한 결과를 보였다. 열처리를 한 샘플 C가 열처리를 하지 않은 샘플 B보다 인장강도, 연신율이 높음을 알 수 있었다.

3.2 Si 입자 크기에 대한 영향

Si 입자에 대한 영향을 보기 위해 Image Analysis를 이용해 500배로 확대한 Fig. 6의 조직 사진을 분석하였다. 열처리 후의 샘플 조건인 A, C의 Si 평균지름을 비교한 자료가 Fig. 11에 나타나 있다.



(a) Sample A (b) Sample C
Fig. 11 The mean size of silicon particle on sample and C

샘플 A의 Si 평균지름은 4~6 μm으로 부위별로 불균일함을 보였으나, 샘플 C는 3.5~4.5 μm로 부위별로 균일하게 나타났다. 이는 인장강도, 연신율, 그리고 Fig. 6 조직사진에서도 알 수 있듯이 열처리를 통해 공정 Si 입자들이 구형화 되었으나, 가압력 부족, 금형구조의 문제와 재가열 동안 불충분한 확산으로 인하여 Si 입자들이 고르게 분포되지 못한 게 원인이 될 수 있다. 반면에 샘플 B의 경우는 양호한 기계적특성을 나타내었다.

열처리(T6) 전과 후에 대한 Si 입자 거동이 기계적 성질에 미치는 영향을 Fig. 6의 샘플 B, C를 통해서 비교, 분석하였다. 열처리 전에는 초정조직의 계면 주위에 미세한 Si 입자와 뭉쳐져 있는 Si 입자 덩어리들이 존재해 있다. 이를 열처리를 하여 조직을 검사하면 샘플 C에서 볼 수 있듯이 균일한 크기로 구형화 된 것을 볼 수 있다. 이는 T6 처리시 용체화 처리 중 확산에 의해 공정 Si 상이 충분히 조대해져 유사한 미세조직을 가지게 되었기 때문이다[5]. 이때 여러 결합물이 형성되는데 그 중 Mg₂Si 상이 대부분을 차지한다.

Fig. 9와 Fig. 10의 인장강도와 연신율 비교에서 열처리 후의 값들이 더 높게 나타남을 볼 수 있다. 전체적으로 균일하게 구형화 된 Si 입자 결합들이 응력집중을 저하시켰기 때문이라고 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 thixoforming 공정에서 Si의 크기가 대형 suspension 부품의 기계적성질에 미치는 영향을 3가지 샘플의 비교를 통하여 고찰한 결과 공정변수(사출조건, 금형구조)의 변경으로 열처리 수행한 미완제품과 완제품의 비교에서는 공정변수의 변화로 인하여 Si 입자의 구형화와 고른 입자 분포 때문에 기계적 성질이 많이 향상됨을 알 수 있었다.

그리고 T6 열처리를 함에 따라서 공정 Si 입자들이 용체화 처리 중 확산을 통하여 충분히 조대화, 구형화 됨에 따라 기계적성질 향상을 알 수 있었다.

또한 실리콘 입자의 평균크기가 기계적 성질에 미치는 영향은 성형공정의 조건이 개선되지 않았던 샘플 A의 Si 평균지름이 4~6 μm으로 부위별로 불균일하였으나, 반면에 개선된 성형공정의 조건으로 성형된 샘플 C의 Si 평균지름은 3.5~4.5 μm로 부위별로 균일하였다. 평균지름의 차이에 의해서 샘플 C가 샘플 A보다 향상된 기계적성질을 보였다.

참고문헌

1. Kenneth P. Young, Rudolf Fitze, "Semi-solid metal cast aluminum automotive components", Proceedings of the third international conference on semi-solid processing of alloys and composites, Tyoko, June 1994, M. Kiuchi, eds., Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Tokyo Japan, 1994, pp. 155~177
2. A. N. Alexandrou, G. "Semisolid metal processing", Proceedings from materials solutions conference '98 on aluminum casting technology, Rosemont, Illinois, 12-15 October 1998, pp. 23~31
3. 김석원, 강연철, 김동건, S. Kumai, "반응고 공정 가압 주조한 A356 합금의 미세조직의 기계적 특성", Journal of the Korean Foundrymen's Society, Vol. 20, No. 4, pp. 269~276, 2000
4. 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
5. 柳永彬, 金祥植, 李在鉉, 李延煥, 李漢重, 李明鎬, "반응용 성형된 A357 합금 성형품의 부식 및 기계적 특성에 관한 연구", J. Kor. Inst. Met. & Mater., Vol. 39, No. 8, pp 872~882, 2001