

고효율 전동기용 Cu Rotor 의 반응고 성형과 공정변수 제어

정우성¹, 이상용², 신평우¹

Process Control and Thixoforming Cu Rotor for High Efficiency Motors

W. S. Jung, S. Y. Lee, P. W. Shin

Abstract

Rotor in small-medium induction motor has been usually manufactured by aluminum diecasting. In order to improve efficiency of induction motors, newly developed Cu-Ca alloys have been investigated. The electrical conductivity in the Cu alloys containing Ca less than 1.0wt% was higher than 80% IACS. Cu-Ca alloy is desirable for the thixoforming process because it has wide semi-solid range over 150°C. In this study, Cu-rotor with thixoforming process was developed to replace the conventional aluminum diecasting rotor. Analysis microstructure of thixoforming rotor. effect of incomplete filling defect on the efficiency of induction motor was discussed.

Key Words : Cu rotor, Thixoforming, Semi-solid metal forming, high conductivity copper alloy, SIMA process, Cu-Ca alloy

1. 서 론

전동기는 전기에너지를 로터의 회전에 의하여 기계적 에너지로 바꾸어 주는 장치로서 가정뿐만 아니라 산업분야에 광범위하게 사용되고 있다. 그러나 이 에너지의 변환과정에서 전동기의 종류에 따라 7~25%의 에너지 손실이 발생한다. 현재 전력의 54% 이상이 중,소형 모터에서 사용되고 있다[1]. 향후 경제성장과 산업발달에 따라 전력 수요량은 점차 증가할 것이라 예측된다.

현재 상업적으로 생산되고 있는 중,소형 전동기 로터의 소재는 순수한 알루미늄을 다이캐스팅으로 제조하고 있다. 알루미늄의 전기전도도가 순동의 60% 수준으로 전기저항이 큰 관계로 전력 손실도 크지만 소재로 알루미늄을 사용하고 있는 것은 소재가격이 저렴하고 복잡한 형상의 로터

제조가 용이하고 동합금을 다이캐스팅 하는 것에 비해 금형수명이 길기 때문이다. 그러나 알루미늄 로터를 사용한 전동기의 효율을 높이기 위한 방법은 거의 한계점에 이르러 전동기의 효율을 향상시키기 위해서는 로터 자체의 전기전도도 향상이 중요한 과제로 대두 되고 있다. 전동기 로터의 재료로 앞서 말한 동합금을 사용하여 효율을 크게 향상시킬 수 있다. 그러나 동합금 로터를 다이캐스팅으로 제조하는 방법에는 많은 제약이 있다. 동합금 다이캐스팅의 제약중의 하나는 알루미늄보다 매우 높은 용점으로 인해서 금형의 마모가 심하여 경제적인 금형수명을 기대하기 어렵다[2]. 이러한 다이캐스팅의 문제점을 해결할 방안으로 Al 및 Mg 합금 부품 제조에 많은 기술 축적이 이루어진 반응고 성형법이 있다.

반응고성형은 고액공존구역에서 성형이 이루어

1. 창원대학교 재료공학과
2. 안동대학교 신소재공학부

지기 때문에 액상선 보다 100℃ 이상의 온도에서 성형을 하는 다이캐스팅에 비해 금형의 마모율이 작고, 주조결함이 적은 이점이 있다. 본 연구에서는 넓은 고액공존구간을 가지는 Cu-Ca 합금을 사용하여 SIMA 공정을 통해 구상화 조직을 형성하고 공정변수의 제어를 통하여 고효율 전동기용 Rotor 의 반응고성형과 성형된 시제품의 slot 조직 분석을 통하여 성형에 따른 효율에 대하여 논의하고자 한다.

2. 원소재 및 성형공정

2.1 원소재 가공과 SIMA공정

Cu 로터 반응고성형을 위한 원소재는 Ca을 0.5% 함유한 Cu-Ca합금을 Ar 분위기에서 진공용해주조를 통해서 직경 100mm, 높이 180mm의 빌렛을 직경 76mm, 높이 90mm의 원통형 빌렛으로 1차 가공하였다. Cu-Ca 합금은 Ca함량이 1.0%이하일 때80% (IACS) 이상의 전기전도도를 가진다. Ca 함량이 낮을수록 우수한 전기전도도를 나타내었으나 가열실험을 통하여 매우 낮은 Ca 함량의 Cu-Ca 합금의 성형성은 좋지 못했다. 1.0wt% 이하의 조성에서 성형성과 전기전도도를 고려하여 0.5% 조성의 cu-Ca 합금을 사용하게 되었다.

반응고성형은 입자의 형태에 따라 성형성이 크게 좌우되는데 입자가 구상의 형태를 하고 있으면 작은 전단응력으로도 입자의 유동이 용이해지므로 성형성이 좋아진다. 또한 금속재료가 Tixotropic 특성을 지니기 위해서는 조직적으로 구형의 고 융점 상들이 저 융점 상으로 둘러 싸여져 있어야 한다. 일반적인 주조조직은 수지상을 형성하고 있기 때문에 가공열처리 방법중의 하나인 SIMA공정 (Strain Induced Melt Activated) 을 통해 입자를 구상화 시킬 수 있다 [3],[4]. 이 공정은 소재를 냉간 또는 열간 가공으로 변형을 가하여 재가열 동안 입자의 재결정화를 통해서 쉽게 구형과 시키는 방법이다. 충분한 소성변형을 받은 재료를 반응용상태로 가열하면 조직이 미세하고 균일하며 비수지상의 구형입자를 형성할수 있다. Fig. 1은 여러 가지 조성의 합금을 가공도를 달리하여 압축 후 재가열 한 결과로 특히, 가공도 15% 이상에서는 조성에 크게 영향을 받지 않고 구형화된 grain들이 거의 비슷한 size를 나타내었다[5]. 1차 가공한 빌렛에 SIMA 공정을 적용하여 15 %압축을 가해서 최종

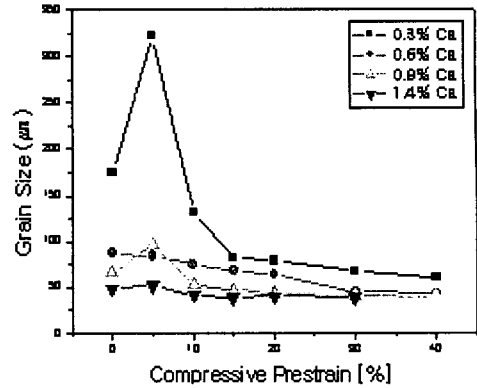


Fig. 1 Grain size of Cu-Ca alloy specimens compressed to various deformation levels at room temperature followed by heat treatment at 1050℃ for 4 minutes.

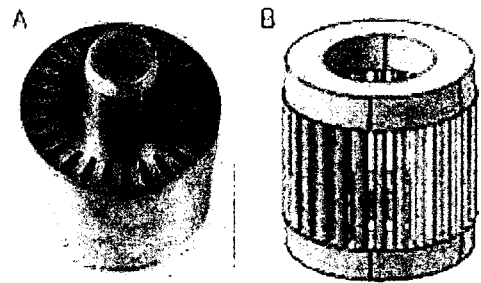


Fig. 2 Rotor core assembly (A) and Squirrel cage (B)

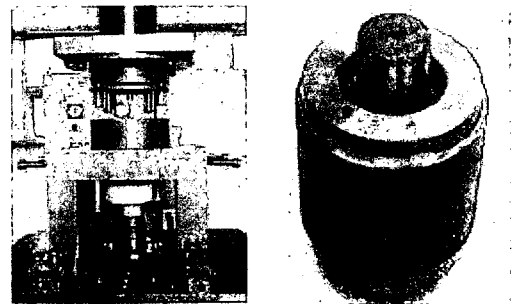


Fig. 3 Die for Cu rotor thixoforming and As-thixoformed Cu-Rotor

직경 76mm, 높이 76mm의 빌렛을 준비하였다

2.2 성형공정

시제품의 성형은 3HP용 Rotor으로 하였다. Fig. 2 는 시제품 성형을 위한 Rotor core assembly

(A) 와 squirrel cage (B)를 나타내었다. rotor core assembly는 직경 84mm, 높이 67mm로 Fe-Si 강판을 중심에 shaft를 축으로 적층한 형태이며 슬롯은 직선형으로 상부까지 설계되어 있다. 실제 성형으로 충전해야 하는 squirrel cage의 volume를 기준으로 빌렛의 최소 volume의 제한의 기준으로 삼았다. SIMA공정을 적용한 압축된 빌렛을 50KW 고주파 유도가열기를 이용하여 가열하였으며 1070℃ 부근까지 가열하여 800ton Press를 이용하여 성형하였다. 성형시 Ram Speed는 300mm/s, Load 25 Ton, 금형온도는 성형직전 core assembly의 온도를 400℃의 조건으로 성형하였다. Fig. 3에 성형용 금형과 성형된 시제품을 나타내었다.

3. 성형결과

3.1 성형된 시제품의 충전결함

초기에 성형된 시제품들은 많은 미충진결함이 발견되었다. 미충진 슬롯의 미세조직 관찰 결과를 Fig.4에 나타내었다. 충전방향은 좌에서 우로 충전이 되었다. 슬롯의 미세조직은 부위별로 하부에 고상이 상부에 액상이 많은 양상으로 나타나는 공통점은 있었지만 슬롯마다 미충진이나 역충진 부위의 조직이 상이하였고 미세조직의 분석으로는 확실한 차이가 명확하게 나타나지 않았다. 슬롯 미충진의 원인으로는 core assembly(400℃)와 반응고 슬러리의 온도(1070℃)차이에 의한 충전 도중 응고현상이나 Fe-Si 강판을 적층시켜 만든 core assembly의 미세한 요철이나 강판의 간격이 슬러리의 온도저하나 유동성저항을 증대시킬 수도 있다고 예상되며 대기중의 가열로 인해 형성되는 빌렛표면의 산화막도 충전 중 응고 현상의 한 요인이라 생각된다. Slot 미충진으로 인한 단락이 효율저하의 주 원인이므로 영향을 줄 수 있는 공정변수의 제어를 통해서 적절한 가열과 성형조건을 적용하여 성형실험을 수행함으로써 결함을 제거하고자 하였다.

3.2 공정변수의 제어

빌렛의 경우 높이를 5mm 높인 직경 76mm 높이 81mm 의 빌렛을 사용하였고 이전의 유도가열기 coil 을 상.하부 대칭가열에서 상부로 약간 치우치게 coil 을 위치하여 가열시 상부가 하부보다

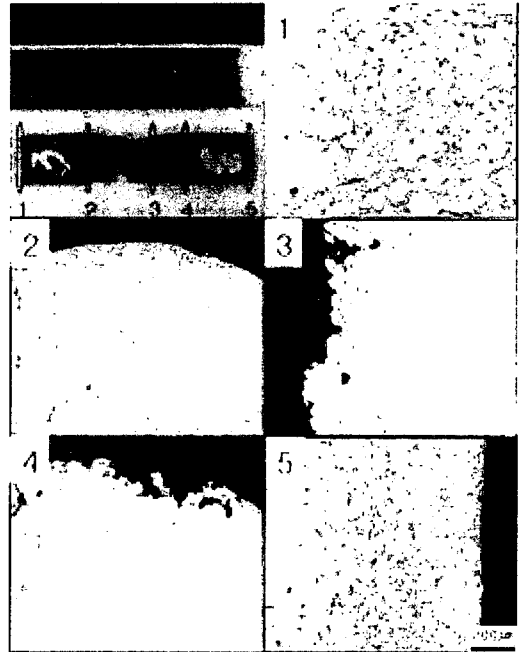


Fig. 4 Microstructure of incomplete slot at various positions

더 높은 온도를 나타내었다. 이것은 기존 방법으로 가열시 빌렛 size 가 크기 때문에 부위별 온도차가 크고 자중과 하부의 압축 식면부에 접촉하면서 배출되지 못한 열로 인해 성형전에 하부가 먼저 무너지는 경향을 방지하고 성형시 상부는 slot 으로 유입되어 충전되는 부분이지만 하부는 충분한 압력을 전달해야 하기 때문에 volume 으로 인해 생기는 부위별 온도차이를 성형에 유리한 조건으로 제어하기 위함이다. 적정 성형온도의 결정은 빌렛의 가열이 내부와 외부의 온도가 가열이 진행되면서 차이가 발생하는데 대기와 접촉하는 표면부위의 온도가 낮게 된다. 각기 다른 깊이로 5mm 와 20mm 깊이로 열전대를 장착하여 온도를 측정하였다. 측정된 내부와 외부의 온도차이가 부분 용해된 슬러리가 흘러내리면서 빌렛이 무너지기 직전 단계에서 급격히 외부온도가 상승하면서 비슷한 온도를 나타내게 되는 구간을 경험적으로 성형온도로 결정하였다. 성형온도는 이후에 많은 성형실험이 반복되면서 금형이나 가열 조건 등이 일정해지면서 1075℃ 부근으로 일정한 양상을 나타내게 되었다. 후반기의 성형에서는 빌렛을 실린더(cylinder)형에서 상부에 Hole 을 만든 빌렛을 사용하였다. Core assembly 형태로

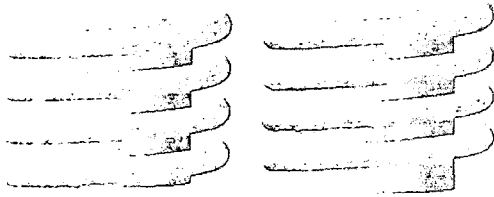


Fig. 5 Induction heater coil positoin



Fig. 6 Modified billet

인해 중심축이 성형시 1차로 압을 받게 되는데 빌렛의 상부에 홈을 만들어 사용함으로써 슬롯으로 직접 압을 가하여 충전하기 위함이다

3.3 Cu-rotor 효율

여러 공정변수를 제어하여 성형한 시제품은 육안으로 미충진슬롯의 관찰이 불가능하기 때문에 효율을 측정하기 전에 비파괴 검사(Radiographic Testing)를 통해 미충진 슬롯을 검사할 수 있었다. 효율측정결과 미충진 슬롯이 없는 경우 효율이 높은 경향을 보였고 일반형 빌렛보다 수정한 빌렛이 약간 나은 결과를 보였으며 알루미늄 로터 대비 1%이상의 효율상승이 있었다. 이는 성형시 1차로 압을 받는 부분이 core assembly의 shaft부분이 아닌 slot부위에 직접 압이 가해졌기 때문에 충전에 더 유리했다고 판단된다.

4. 결론

- (1) 충전상태에 따른 슬롯의 차이점은 미세조직의 관찰로 명확하게 나타나지 않았다.
- (2) 미충진슬롯이 효율저하의 가장 큰 원인이며 가열조건 및 성형의 공정변수의 제어로 충전결함을 줄일 수 있었다.
- (3) 빌렛은 홈을 낸 빌렛이 더 높은 효율의 결과를 보였고 이것은 슬롯에 직접적으로 압이 가해지기 때문에 core assembly shaft에 1차로 접촉하는 것 보다 충전이 잘 되었다.

후 기

본 연구는 창원대학교 공모과제 연구비 지원을 받았습니다. 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Kang, D.H., Ha, H.D., Chang, K.C., Goo, D.H. et al.:Planning of long-term technology for the development of high efficiency motors, Report for the Ministry of Commerce, Republic of Korea, 1998, p.250.
- [2] Sellors, R.G.R. and Heyes, J.G., Engineering, Vol. 219, No.11(1979), 1434-1437
- [3] S. Kleiner, O. Beffort, M. Fuchs, P.J. Uggowitzer : Advanced Semi-solid Processing of Alloys and Composites, Proceedings of the 7th S2P, 2003, p.257-262
- [4] Lee Sang-Yong, Lee Jung-Hwan, Lee Young-Sun : Journal of Materials Processing Technology, 4845, (2001) 1-6
- [5] Lee E.Y., Kang B.M., Lee S.Y. J. of the Korean Society for Heat Treatment, vol. 16, No. 5, (2003) pp.267~274