한국소성가공학회 2002년도 춘계학술대회 논문집 pp.149~153

자동차용 연료펌프모터 정류자의 단조공정 개발에 관한 연구

서명규* · 정호승** · 조종래*** · 배원병****

A Study on the Forging Process Development of the Commutator of an Automotive fuel Pump

M. K. Seo, H. S. Jeong, J. R. Cho and W. B. Bae

Abstract

The commutator of an automotive fuel pump motorhas been produced through various processes such as forging, segmenting, and assembling. And the conventional method producing the commutator of an automotive fuel pump motor is not appropriate for saving material and cost, because it makes each segment separated one by one. Therefore a new process design is required in oder to avoid the assembling process.

In this study, a new process design of the commutator has been carried out to save material and manufacturing time by FE analysis. In the FE analysis, three forging processes are proposed for producing copper(ASTM C11000) commutator of an automotive fuel pump motor.

And forging experiments are performed to make an unsegmented commutator in order to verify the theoretically proposed process. And then, in order to get the final product, the forged commutator is passed through various postprocessing such as machining, bending, resin forming, and shearing process.

From the experimental result, the forging process proposed from the FE analysis is verified to be an economical method for producing the commutator for an automotive fuel pump motor.

Key Words : Commutator, Fuel Pump Motor, Copper(ASTM C11000), FE Analysis, Forging Process

1. 서 론

정류자는 그 용도에 따라 형상, 크기 및 전기적 성능이 다양하고 수요가 많은 부품이다. 특히 자동차에서의 전기연료펌프는 펌핑작용을 위해서 전기모터와 솔레로이드를 사용하는데, 점화스위치가 켜지자마자 작동되고 엔진이 멈추기 전에는 계속해서 펌프가 작동되어야 하므로 모터의 안정성과 내구성이 요구된다. 안정성과 내구성이 요구되는 연료펌프 모터용 정류자는 제조방법이 난해하고, 국제적인 원가 경쟁력 등의 이유로 모터 제조회사는 이를 수입에 의존하고 있는 실정이다. 이러한 제조공정의 난의성과 고성능의 제품특성을 만족시키기 위해 각 공정의 금형설계와 공정설계, 제품성능시험 등 체계적인 연구개발이 필요하다.

* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과
** 한국해양대학교 대학원 기계공학과
*** 한국해양대학교 기계정보공학부
**** 부산대학교 기계공학부

본 연구의 목적은 단조공정을 이용하여 자동차용 소형 모터인 연료펌프 정류자를 제조할 수 있는 최적의 공정을 유한요소해석을 통하여 파악하고 실험을 통하여 검증하고자 한다.

2. 단조 공정 설계

2.1 강소성유한요소법

유한요소 해석을 위해 다음과 같은 가정을 도입하였다.[1~3]

(1) 금형은 강체로 생각한다.
(2) 재료는 등방성이고 강소성체이다.
(3) 바우싱거 효과(Bauschinger effect)는 무시한다.
(4) 재료가 변형하는 동안 체적변화가 없다.
(5) 재료는 Von Mises 항복조건을 따른다.
(6) 온도의 변화는 무시한다.

2.2 연료펌프모터 정류자

연료펌프는 자동차의 연료를 공급하는 용도로 이용되며 지속적으로 사용되기 때문에 부품의 내구성이 많이 요구된다. Fig. 1은 연료펌프 모터의 정류자이다. 실제 연료펌프 모터용 정류자는 소형이며, 연료펌프의 안정적인 작동을 위해서 안정성이 요구된다. 또한 내외부가 아주 복잡한 형태를 가지고 있어 제품을 제조하기 위해서는 단조 이외에도 굽힘, 절단, 절연수지결합, 후가공 등의 여러 공정이 필요하다. 이러한 공정에 따른 생산비 증가로 인해서 경제성을 갖추기 어렵다. 따라서 단 한번의 단조를 통하여 정류자를 제조함으로써 경제성을 확보하고자 하였다.

Fig. 1 A commutator for automotie fuel pump motor

연료펌프 모터 정류자의 단조공정의 설계를 위해서 유한요소해석을 통해 공정모델을 제시하고 초기 소재의 치수(내경, 외경, 높이)를 달리하여 시뮬레이션을 수행하였다.[4~5]

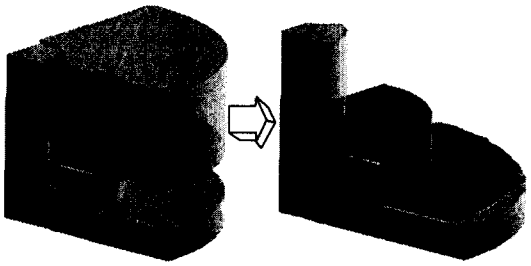
본 연구에서의 유한요소해석은 상용 프로그램인 DEFORM 3D를 사용하였고. 연료펌프 정류자의 1/4형상을 모델링하여 해석을 수행하였다. Table 1에 해석에 사용된 조건을 나타내었다.

Table 1 Input data for the forging simulation

Material	Tough pitch copper(ASTM C11000)
Stress-Strain relation	$\bar{\sigma} = K(\bar{\varepsilon})^n$ $K=451.95(MPa),\ n=0.328$
Punch velocity (mm/sec)	5, 10
No. of elements	1500
Simulation mode	Isothermal
Friction factor(m)	0.1

(1) 공정모델 I

Fig. 2와 같이 업세팅과 측방압출의 복합형태로 단조공정을 제안하여 유한요소해석을 하였다. 링 형상으로 제안된 초기 소재의 윗부분 전체와 펀치가 접촉되면서 소재의 내경부는 절연수지결합을 위한 형상부분으로 성형되고 소재의 외경부는 정류자의 권선 연결부가 될 부분을 원판형태로 성형한다. 이후 전단 공정으로 권선 연결부가 완성되는 형태이다.

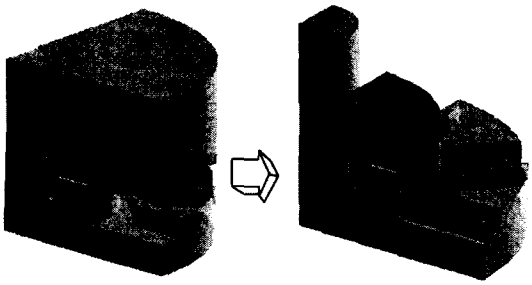


(a) Before Forging (b) After Forging

Fig. 2 Forging Model I of a motor commutator for a *fuel pump*

(2) 공정모델 II

모델 I 에서 원판형태의 권선 연결부 부분의 성형을 Fig. 3과 같이 단일 공정으로 8개의 가지형태로 성형을 시도하였다. 초기의 성형은 모델 I 과 같고 이후 권선 연결부 부분이 하부 금형에 의해서 가지형태로 분리되어 성형이 끝난다. 초기소재의 크기 및 전단 공정을 줄여서 소재를 절감할 뿐만 아니라 공정을 단축시키고자 하였다.

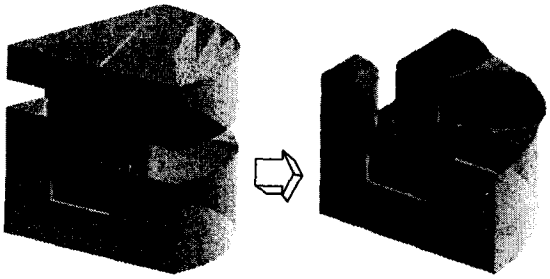


(a) Before Forging (b) After Forging

Fig. 3 Forging ModelⅡ of a motor commutator for a fu -el pump

(3) 공정모델 Ⅲ

Fig. 4와 같이 후방압출 형태의 공정모델 Ⅲ을 제안하였다. 하부금형에 의해 구속되어진 소재가 펀치의 하강으로 인해 후방압출 되면서 내경부는 절연수지 결합력을 높이기 위한 내부 성형부와 외부의 정류자 세그먼트부를 성형하게된다. 이때 펀치의 성형부에 의해 갈라진 형태로 권선 연결부 부분의 성형이 가능하도록 하였다.



(a) Before Forging (b) After Forging

Fig. 4 Forging ModelⅢ of a motor commutator for a fu -el pump

3. 실험 및 실제품 제조

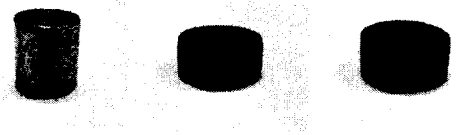
3.1 압축실험

실험에 사용된 동 소재는 ASTM C11000의 소재로 99.95Cu-0.04O의 화학성분을 가지며, 일반적으로 터프피치동이라 불리는 것으로 정류자와 같은 전기재료에 널리 사용되는 소재이다. 상업용의 터프 피치동에는 미량의 은이 포함되는데 기계적 성질이나 전기적 성질에 대한 영향은 적지만, 재결정온도를 높이고 미세한 입계의 구리를 구성하도록 하는 경향을 가진다.[6]

Fig. 5(a)와 같은 지름 18mm, 높이 18mm 의 원주 형태의 동 소재를 어닐링 처리(520℃로 가열 후, 30분동안 유지하고 노냉)를 한 상태와 어닐링 처리를 하지 않은 상태로 각각 냉간 압축실험을 하였다. 마찰효과를 줄이기 위해서 윤활유와 그리스를 사용하였다.

이 실험은 유한 요소 해석에 필요한 동 소재의 유동곡선을 구하기 위함이며, 일반적으로 봉재는 압출에 의해 만들어졌기 때문에 어닐링 열처리를 함으로써 유동양상이 달라진다.[7] 초기 응력을 보면 어닐링 처리를 하지 않은 소재의 유동곡선보다 어닐링 처리된 소재의 응력이 많이 낮음을 알 수 있다. 그러나 변형률이 0.5 이상이 되면 어닐링되지 않은 소재와 같아짐을 알 수 있었다.

Fig. 5는 실험 전후의 시편의 형태이며, Fig. 6은 실험을 통해서 얻어진 유동곡선을 나타낸다.



(a) Specimen (b) Non-annealed (c) Annealed
(520℃, holding time 30min, cooling in furnace)

Fig. 5 Initial billet and compressed billets of copper (ASTM C11000)

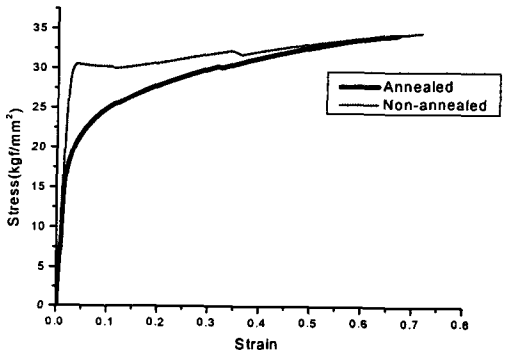
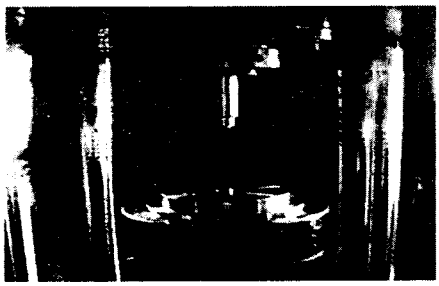


Fig. 6 Stress-strain curve for copper (ASTM C11000)

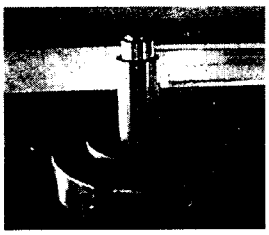
3.2 연료펌프 모터 정류자

제안된 공정 중에서 적합한 공정으로 결정되어진 공정모델 Ⅲ의 검증을 위해서 연료펌프 모터 정류자의 실제품을 제조하여 보았다. 제안된 금형의 형상대로 펀치와 하부금형을 제작하고 단조성형을 하였다. 단조공정을 통해 제작된 정류자의 반제품을 내부 굽힘과 슬로팅, 전단, 절연수지결합, 권선 연결부의 굽힘 공정을 거쳐 정류자의 완성품을 제작하였다. 이때 실험에 사용된 장비는 250ton 유압프레스이고, 실험소재는 압축실험에 사용된

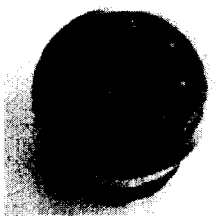
소재인 터프피치동이다. Fig. 7(a)는 단조금형이 프레스에 설치된 실험장치이며, Fig. 7(b),(c)는 펀치의 세부형상이다.



(a) The equipment for the experiments



(b) Punch



(c) Punch details

Fig. 7 Forging apparatus of a motor commutator for a fuel pump

4. 결과 및 고찰

4.1 FE 해석

공정모델 Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ을 통하여 연료펌프모터용 정류자의 단조공정의 FE 해석을 수행하였다.

공정모델 Ⅰ은 권선 연결부 부분이 나뉘어 있지 않고 원판형태로 성형되는 공정으로 성형하중이 낮고 성형 후 취출이 비교적 용이한 장점이 있다. 그러나 전단공정에 의해 권선 연결부가 만들어 질 때, 소재의 손실량이 많은 단점이 있다.

공정모델 Ⅱ의 권선 연결부 부분의 가지형상을 가진 형태는 성형하중이 다소 상승하지만, 소재의 양을 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 소재의 양이 줄어들면서 권선 연결부의 가지성형부가 충분한 두께를 가지지 못한 채 성형이 끝나는 경향을 보였으며, 성형후의 취출이 다소 어려운 단점이 있다. 또한 완전밀폐형의 단조 공정이 아닌 이상 간단한 트리밍 내지는 전단 공정이 필요한 것으로 판단되었다.

공정모델 Ⅲ은 보다 쉬운 취출이 가능하고 하부 금형의 형상이 간단해짐에 따라 수명도 향상될 수 있으며, Fig. 8과 같이 완벽한 권선 연결부의 가지를 성형하진 않지만 갈라진 형태의 가지부가 성형되어 약간의 소재절감 효과도 얻어지는 것으로 판단하였다.

결론적으로, 대량생산을 고려한 공정모델 Ⅲ의 형태로 단조공정을 선정하고, 소재의 형상을 바꾸면서 해석을 수행하였다. Fig. 9는 해석을 통해 결정된 소재의 형상이다. Fig. 8은 공정모델 Ⅲ의 해석이후의 모습이다. 정류자편의 두께 2.4mm와 내경부의 절연수지결합력 보완을 위한 형상이 잘 성형되었으며 권선 연결부의 두께도 1.1mm 정도로 잘 성형되었다.

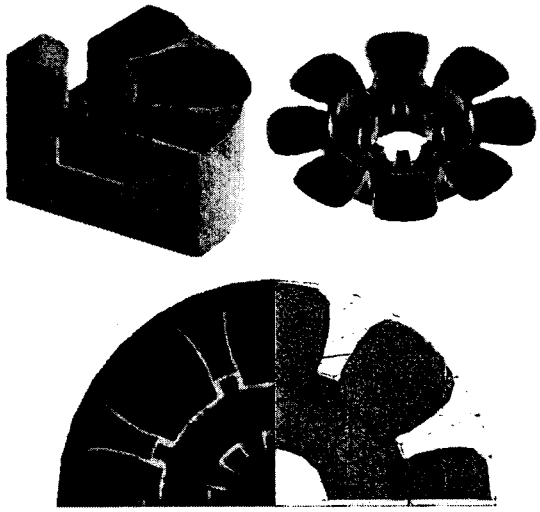


Fig. 8 The final result of FE analysis of fuel pump com -mutator

4.2 실제품 제조

Fig. 9는 실험에 사용된 동 소재이다. 소재는 압축실험에 사용된 터프피치동이다. Fig. 10은 단조성형이 완성된 모습이다. 전단공정에 의해 권선 연결부로 성형될 8개의 가지부분이 충분한 두께로 문제없이 성형되었고 절연수지성형에 의한 결합력을 보강하기 위한 내부의 작은 성형부 역시 무리 없이 성형되어졌다. 이렇게 공정모델 Ⅲ을 기초로 연료펌프 모터 정류자의 단조품을 성형하였다. 그러나 단조성형이 끝나면 8개의 정류자편은 모두 연결되어진 상태이다. 정류자의 각 정류자편은 절연상태를 유지해야 하므로 하나하나 떨어진 상태로 되어야 하며 그러나 8개의 정류자편이 정류자의 형상을 유지해야 하므로 절연수지의 결합이 중요하다. 이를 위해서 내부의 형상을 성형하고, 성형된 내부 형상을 굽혀서 절연수지의 결합력을 높인다. 또한 권선 연결부의 내부를 슬로팅하여 절연수지와 쉬운 이탈을 방지한다. 그리고 정류자의 뒷면을 깊이방향으로 2.4mm 폭 0.6mm로 가공하여

각각의 정류자편이 절연을 유지하는 정류자의 완성품이 된다.

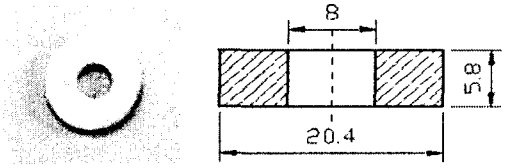


Fig. 9 The shape of the copper specimen for fuel pump motor commutator manufacturing test

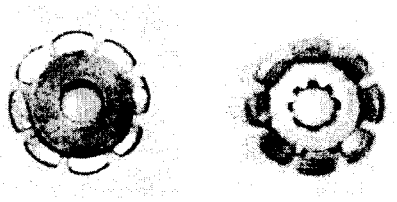


Fig. 10 The shape that forging process was completed

Fig. 11은 단조성형이후 굽힘과 전단 공정을 거쳐 절연수지결합이 되어진 연료펌프 모터용 정류자의 완성품이다. 단조실험 및 연료펌프모터 정류자의 제작 실험을 토대로 연료펌프모터 정류자의 최종 제품에 대한 공정을 설계하여 보았다. 설계된 공정순서는 다음과 같다.

(1) 시편 가공 - 봉재 절단 후 내경 가공
(2) 냉간 단조
(3) 단조 제품을 내, 외 단면 가공
(4) 슬리팅, 전단, 내, 외부 굽힘 가공
(5) 절연수지결합 성형
(6) 절단 가공

Fig. 11 The final product of fuel pump motor commut -ator

5. 결 론

본 연구에서 3차원 유한요소해석을 통해서 자동차용 소형 모터 정류자인 연료펌프 모터 정류자의 단조공정을 제안하였다.

해석과 실험을 위해서 ASTM C11000 소재의 압축실험을 통해 유동곡선을 얻었다. 상용 유한요소프로그램인 DEFORM 3D를 이용하여 단조공정을 설계하였으며, 이때 정류자의 성형형태, 성형하중 그리고 대량생산을 위한 생산성을 고려한 적절한 공정과 금형 형상을 제안하였다. 제안된 단조공정으로 납과 동 소재를 이용한 실험을 통해 정류자를 제작하였다.

(1) 3차원 유한요소해석을 이용해서 자동차용 연료펌프모터 정류자의 성형성과 생산성을 고려한 단일 단조공정을 제안할 수 있었다.

(2) 제안된 단조공정의 타당성을 납 실험과 실제품 제조를 통해 검증하였다. 해석과 실험을 통해서 얻어진 성형하중과 유동양상이 잘 일치함을 알 수 있었다.

(3) 단조공정을 이용해 자동차의 소형모터인 연료펌프 모터의 정류자를 제조함으로써 생산공정을 줄이고, 새로운 공정개발을 통해 생산원가절감 및 생산성을 향상시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

(1) Volker Szentmihali, Kurt Lange, Yves Tronel, Jean-Loup Chenot, Richard Ducloux, 1994, "3D finite-element simulation of the cold forging of helical gears", Journal of Materials Processing Technology. 43 pp.279~291.

(2) Kurt Lange, 1985, "Handbook of metal forming", McGraw-Hill.

(3) Taylan Altan, Soo-Ik Oh, Harold L, Gegel, 1983, "Metal Forming fundamentals and applications", American Society For Metals.

(4) 이충호, 1997, "성형실험을 통한 냉간단조 공정의 단축 유한요소 시뮬레이션", 소성가공 제6권 5호, pp.395~399.

(5) 최영, 정성윤, 김병민, 최재찬, 1999, "강소성 유한요소법을 이용한 냉간단조 공정의 최종단계 해석" 소성가공, 제8권 1호, pp.108~115.

(6) The ASM Committe on Heat Treatment of Copper Alloys, Metal Handbook 2, 1964.

(7) Acho, W. A., Lawal, G. I., 1997, "On a physico-metallurgically justified inter-annealing schedule for copper", Journal of Materials Processing Technology 72, pp.308~313.