

기계부품용 금속구 제조공정의 성형롤러 개발에 관한 연구

조호성*(흔우철강 부품소재연구소), 박치근***(흔우철강 부품소재연구소),
박종순***(젝시엔 중앙연구소), 김영호****(부산대 기계공학부 ERC/NSDM), 박철우****(부산대 ERC/NSDM)

A Study on Development of Forming Roller for Metal Ball Manufacturing Process for Machine Parts

H. S. Joe,(H. W. Steel) C. K. Park(H. W. Steel), J. S. Park(XXIEN),
Y. H. Kim(ERC/NSDM, PNU), C. W. Park(ERC/NSDM, PNU)

ABSTRACT

Although metal ball can be used as parts of bearing or metal filter, that is used by single product with solder ball or shot ball. Also, according as demand of metal ball of various diameter increases, processing property and extension of coverage are important. Especially an optimal design of cutting roller was investigated for determining appropriate dimensions of components of manufacturing system.

In this study, the effects of the diameter and the round radius of cutting roller were calculated and analyzed.

We applied data of rigid-plastic FEM Simulation in basis design of equipment to solve these issues, and confirmed processing factor about metal ball manufacturing process that use cutting process of metal wire in this research

Key Words : metal ball (금속구), cutting roller (절단롤러), bearing(베어링), metal filter(금속필터)

1. 서론

금속구는 솔더볼, 쇼트볼과 같이 단일 제품으로 사용되거나 베어링, 금속필터의 부품으로서도 사용될 수도 있으며, 현재에는 시멘트 등의 건축자재 과 채용 장구, 표면처리용 미세 금속구 등 다양한 목적에 적용되고 있다. 최근에는 휴대폰 및 전자제품의 포장재에 쓰이는 페퍼포장재의 제조금형에도 적용하고 있다.

이러한 금속구는 각 분야의 사용 용도에 따라 진원도, 압세하중, 표면조도, 중금속 용출 억제성과 같은 제품의 특성에 대한 요구사항도 다양해지고 있으며 그 수요도 증가 추세를 보이고 있다. 그 일례로서 금속구가 가장 많이 소요되는 베어링 업계에 대하여 KOTRA의 2004년 통계자료에서 입수한 국가별 수급 동향에 의하면 기술 선진국으로서 상대적 우위를 점하고 있는 유럽 국가와 미국, 일본이 단연 수출경쟁력이 높음을 알 수 있고 중국은 값싼 노동력을 이용

한 저가의 베어링과 강구를 국내로 대량 수출하고 있다. 다량의 베어링을 소모하고 있는 우리나라의 현재의 실정을 고려할 때, 반드시 수입대체 방안을 확립하여야만 한다. 이에 따라 베어링의 주요부품인 강구의 제조공정 또한 매우 중요한 부분을 차지하고 있다.

본 연구에서는 금속구의 제조 방식에 대하여 연속작업이 가능한 생산 공정을 개발하였다. 이는 강소성 FEM 시뮬레이션을 행하고 그 결과를 토대로 자체 설계, 제작된 금속구 제조기계를 이용하여 펄프금형 및 금속 소결필터를 구성하는 원재료로서 적용 가능한 고내식성의 STS 316L 선재를 가공하여 금속구 중간 시제품을 제작하였다. 이를 통하여 생산설비에 요구되는 성형롤러의 형상 및 롤러의 수명을 예측하고 제조공정의 생산성을 고찰하였다.

2. 본론

국내 금속구의 제조방식은 금속분말을 이용한 소

결방식, 금속을 용융하여 분사하는 용탕분사방식, 절단한 선재를 압조하여 연마하는 압조-연마 방식으로 크게 3가지로 대별될 수 있다.

용탕분사방식은 용융상태의 금속재료를 일정 직경의 출구를 갖는 노즐을 통하여 고압으로 유조에 분사하여 냉각시킴으로서 생산하는 방식이다. 이 공정은 제품의 입도가 균일하지 않고, 이에 따라 선별 과정이 반드시 요구되며 세척과정에서 냉각유의 제거가 비교적 어렵다는 단점을 가지고 있다. 이에 관하여 무연 솔더의 개발과 솔더볼의 환경 규제를 충족시키기 위한 연구가 진행되고 있다.^{1) 2) 3)}

분말소결 방식은 최종제품의 요구 특성에 따라 적절히 배합된 금속분말을 예비성형한 후 소결하여 완제품을 생산하는 방식으로서 강도의 확보는 우수 하지만 금속분말의 최적 혼합비를 구성하는 데에 난점이 있고 예비소결과정이 요구되며 분말의 특성상 최적의 압축률을 고려한 성형이 이루어져야만 한다. 또한 예비성형, 소결, 열처리 등의 설비비가 높다는 단점이 있다.^{4) 5)}

압조-연마 방식은 코일상의 소재를 직선화하여 일정 길이로 절단한 후 구형에 가깝도록 압조하고 연마 과정을 거친 후 열처리하여 강도를 보강하는 방식으로서 다단계의 공정을 거치므로 공정이 복잡하여 생산성의 저하과 함께 과도한 설비비가 요구될 뿐만 아니라 각 공정마다 현장 작업자가 요구되므로 제조원가가 상대적으로 고가로 산정되며 연마량이 많아서 연마분진에 의한 환경문제와 작업자의 건강 문제를 유발할 수 있다.^{6) 7) 8)}

Fig. 1은 일반적인 압조-연마 방식의 금속구 제조 공정을 설명한 것이다.

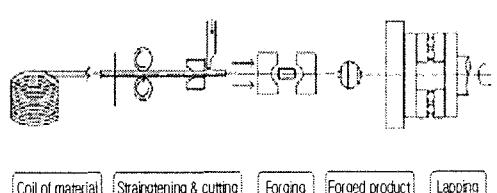


Fig. 1 Conventional manufacturing system of metal ball

전술한 기술들을 바탕으로 한 금속구 제조기술은 베어링 부품의 직진 또는 회전운동에 요구되는 형상 정밀도를 획득하기 위한 공정상 문제와 쇼트볼, 금속필터 소재나 소결용 동구 등과 같이 금속구 자체의 일회 소요량이 매우 큰 제품에 적용할 경우 대량 생산에 관한 문제를 함께 가지고 있다.

2.1 Roll Cutting 방식의 이론 해석

금속구 제조기술의 최대 목표는 대량생산과 다양한 제품 적용성을 갖추는 것이다. 이를 만족시키기 위하여 선재를 가공하기 위한 공구의 운동방식을 개선하여 직선왕복운동을 하던 절단 기구를 회전운동 방식으로 유도함으로써 작업연속성을 부여하고 대량 생산이 가능토록 하는 데 착안하여 Roll cutting 방식의 공정을 개발하였다.

Fig. 2는 금속구 제조 공정에 대한 수학적 모델을 제시한 것이다.

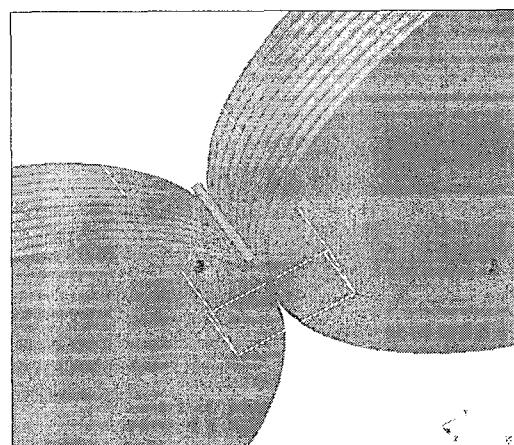


Fig. 2 Numerical Model of cutting process

여기서 강소성 시뮬레이션의 입력 변수로서 Roller의 회전속도(ω), 반경(R_R), 절단을 위한 Groove의 반경(R_G), 인선의 라운딩 반경(R_E)을 공정변수로 고려하였고, 해석의 단순화를 위하여 소재의 양쪽 말단은 소재의 축 방향에 대하여 구속되어 있고, Roller의 회전에 대해서는 소재의 구속이 없다고 가정하였다.

소재의 직경은 1mm, Roller의 Groove 반경(R_G)는 0.5mm와 0.6mm, 인선의 라운딩 반경 치수(R_E)는 0.05, 0.1mm로 소재 직경에 대한 일정 비율로 구성하였으며, 분당회전수는 5rpm의 일정 속도로 회전하도록 하였다. 성형롤러 간의 축간 거리(Gap)은 100mm로 설정하였다.

2.2 이론 해석 결과 및 고찰

실제의 금속구 제조설비에 대한 기초 설계 자료로써 적용이 가능하도록 각각의 공정 변수에 대하여 DEFORM-3D로 강소성 FEM 해석을 수행하였다.

Fig. 3과 Fig. 4는 $R_G = 0.5\text{mm}$, $R_E = 0.1\text{mm}$ 인 경우와 $R_G = 0.55\text{mm}$, $R_E = 0.05\text{mm}$ 에 대한 성형률 52% 상태의 유효응력분포이다.

다음의 결과를 통하여 소재의 변형양상을 고찰해 보면 선재의 중심부 보다 양단에서 굽힘의 경향이

높은 것으로 나타났으며 응력 집중도 심함을 볼 수 있었다. 또한 툴러의 인선에는 최대응력이 발생하는 것을 파악할 수 있다. 이것으로서 소재와 성형롤러 와의 마찰로 인하여 소재가 비틀림이 발생할 수 있으며, 소재가 구형으로 변형을 지속함에 따라 마찰 면이 증가하는 Groove 접촉면에서는 소재가 전단과 함께 Groove 면에 의한 구속 효과를 받는 것으로 판단된다. 또한 인선의 형상이 날카로울수록, 그리고 Groove 면과 소재의 접촉시간이 자연 될수록 소재가 굽일 변형될 것을 예측할 수 있다.

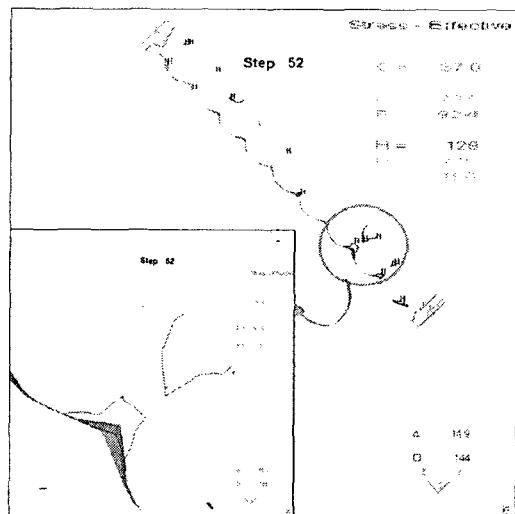


Fig. 3 Effective Stress distribution for
 $R_G = 0.5\text{mm}$, $R_E = 0.1\text{mm}$

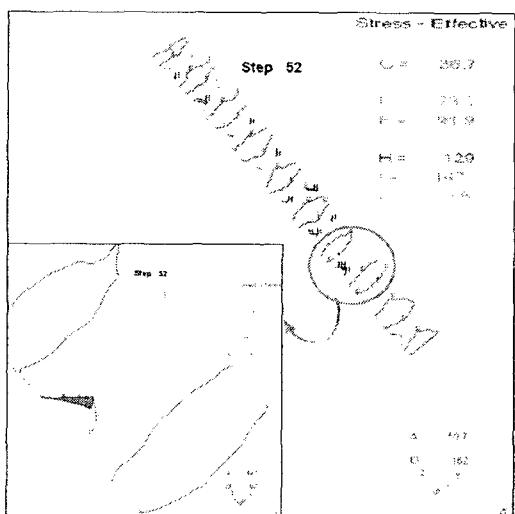


Fig. 4 Effective Stress distribution for
 $R_G = 0.55\text{mm}$, $R_E = 0.05\text{mm}$

Fig. 5는 R_E 와 R_G 의 변화에 따른 대한 성형하중 추이를 나타낸 것이다.

여기에서 전체적으로 하중의 특이점은 없으나 $R_G = 0.55\text{mm}$, $R_E = 0.05\text{mm}$ 의 경우가 가장 낮은 성형 하중차를 나타내었으며 $R_G = 0.55\text{mm}$, $R_E = 0.1\text{mm}$ 의 경우는 Stroke가 0.4mm 이후에서 성형 하중이 급증함을 보인다.

전자는 성형이 진행됨에 따라 롤러의 인선으로 인한 소재의 전단변형이 먼저 이루어지므로 소재가 Groove 사이로 유입된 후 Groove 면과의 마찰로 인한 압조 시점이 늦추어지기 때문이다. 그러나 후자의 경우는 R_G 가 작으므로 유동 가능 면적이 좁아지므로 인선에 의한 전단보다 Groove 면에서의 압조시점이 앞당겨 지므로 마찰에너지의 증가로 인하여 급격히 성형하중이 높아짐을 보이게 되는 것이다.

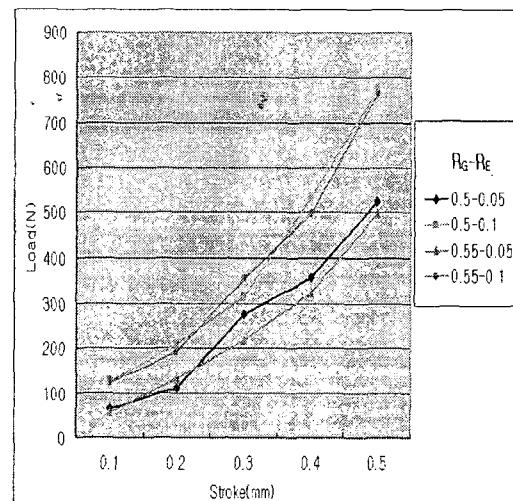


Fig. 5 Comparison of cutting load for R_G and R_E

Fig. 6은 성형력의 고찰에 대한 개략적인 성형 mechanism을 보였다.

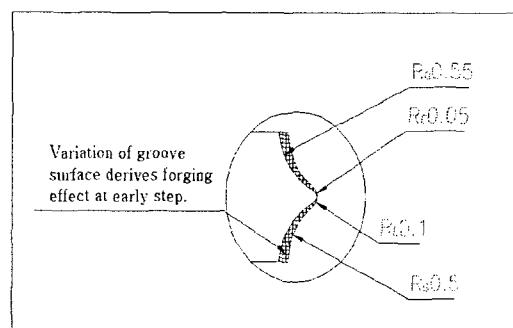


Fig. 6 Mechanism of cutting Process

Fig. 7은 성형공정에 사용된 롤러에 대한 최대응력 분포이다. 이 결과에 의하면 롤러에 형성된 양단의 Groove에서 최대 응력이 발생하는 것과 약 10mm 깊이에 걸쳐 분포됨을 알 수 있다.

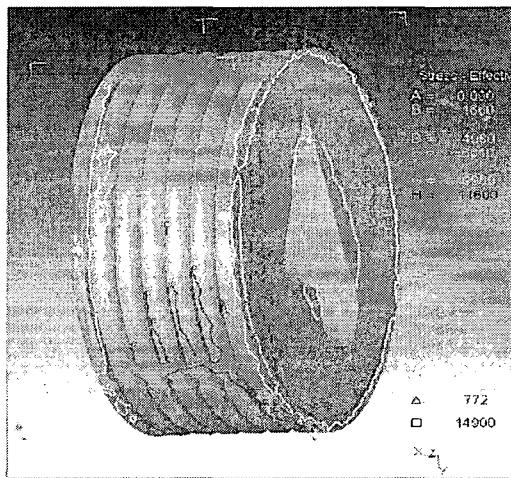


Fig. 7 Result of effective stress distribution for Roller

2.3 실험 결과

Fig. 8은 이론적 해석 결과를 적용한 실험 장치의 성형롤러 구동부이다.

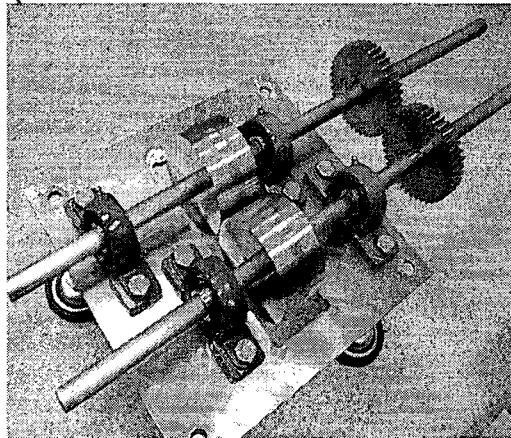


Fig. 8 Picture of manufacturing system of metal ball.

선행연구의 결과를 토대로 금속구 제조 실험 장치를 구성하였다. 속도 제어 및 성형 롤러에 가해지는 Torque의 Feedback이 가능하도록 Servo 모터와 전용 콘트롤러를 설치하여 구동축을 회전시키면 종동 축에 연결된 기어장치를 통하여 동일 속도비로 상대 축 롤러도 회전하도록 제작하였다. 이 장치에 사용된 성형롤러의 소재는 금형소재로서 경질 소재인

CM4를 이용하였고 Fig. 7의 결과를 적용하여 열처리 깊이를 10mm로 설정한 고주파 열처리를 행하여 롤러의 내부는 인성을 갖고 표면부는 경화 처리하여 롤러의 강도 및 경도를 보완하였다.

열처리 가공 후의 성형롤러와 인선의 확대 모양은 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9는 Fig. 7의 결과를 롤러의 열처리에 적용하여 제작한 그림이다. 또한 이 결과를 이용하여 롤러의 반경을 50mm로 할 때 롤러 중심으로부터 반경 40mm까지는 CM4, 40mm에서 최외곽까지는 쇠적화된 R_G , R_E 의 값으로 형성된 이중재질의 소결롤러로 적용한다면 롤러의 인성과 내마모도, 경도를 모두 만족시킬수 있으므로 금형의 수명과 소재의 성형성을 극대화할 수 있을 충분히 예상할 수 있다.

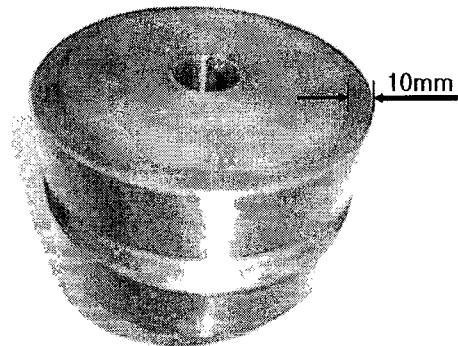


Fig. 9 Picture of metal ball and heat-treated roller used in fabricating process

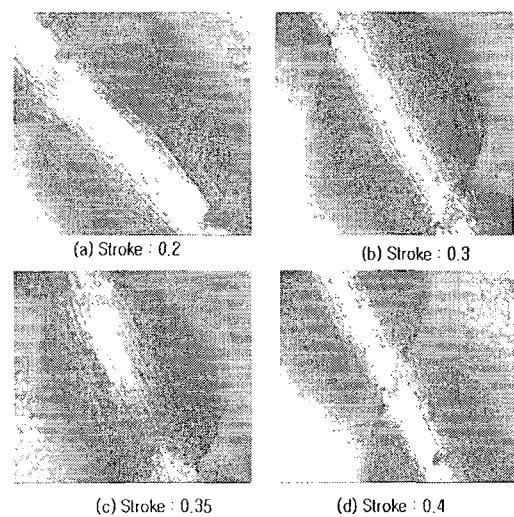


Fig. 10 Sequential arrangement of product by experimental step((a)20%, (b)50%, (c)70%)

Fig. 10은 실험을 통한 시제품이다. 롤러 사이의 성형 간극 사이로 통과하는 길이를 100 step으로 분할하여 (a)20%, (b)50%, (c)70%의 제품 형상을 나타내었다.

성형 초기에 롤러 사이의 성형간극으로 안정하게 유입된 소재는 롤러에 Groove가 생성된 전 구간에 걸쳐 균일한 형상으로 가공된다. 이것은 성형 Groove가 인선에 의한 절단과 함께 압조 효과를 발휘함을 알 수 있다. 따라서 Groove의 최적화를 통하여 제품의 구형화를 더욱 촉진시킬 수 있음을 확인하였다.

3. 결론

본 연구에서는 다양한 목적에 사용될 수 있는 금속구를 제조하기 위한 공정으로서 Roll Cutting 방식의 제조공정을 개발하였다.

이에 수반하여 Roller의 Groove와 절단 인선의 형상에 따른 성형특성을 이론적 해석과 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1). 금속구 제조공정에 있어서 성형 메카니즘에 주요하게 작용하는 공정변수인 R_G 와 R_E 에 대한 선형연구를 통하여 금속구 제조 장치를 개발하였다.
- 2). 주요 공정 변수로서 성형롤러의 R_E 와 R_G 의 치수는 소재의 직경이 1mm일 때, 각각 0.05mm, 0.55mm가 최적치임을 확인하였다.
- 3). 금형에 작용하는 응력에 대한 결과의 고찰로 성형공정을 원활히 수행할 수 있는 롤러를 제작하였다.
- 4). 성형하중과 유효응력 등의 고찰을 통하여 구리, 알루미늄, 폴리머 등의 연질 재료에 대해서도 적용 가능한 성형공정임을 확인하였다.

참고문헌

- 1). Ruman, R.D. : "Review of Toxicology of Inorganic Lead", Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 47(11) 700-703, 1986
- 2). Christian Henry Passow : "A Study of Spray Forming Using Uniform Droplet Sprays", M.S. thesis, MIT, 1992
- 3). S. W. Yoon, B. J. Lee, H. M. Lee : "Alloy Design and Evaluation of Sn-B-In-Zn Solder Alloys through Thermodynamic Calculation", J. Kor. Mater. Res., 7(4) 303-309, 1997
- 4). R. Duggirala and R. Shivpri, "Effects of Processing Parameters in P/M Steel Forging on Part Properties : A Review - Part II Forging of Sintered Compact,

"Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 1, pp.505-516, 1992

- 5). R. J. Crawford, D. Paul, "Pressures transmitted through Polymetric powders subjected to solid phase compaction", Polymer, Vol. 21, pp.138-039, 1980.
- 6). E. Taupin, J. Breitling, W.T. Wu and T. Altan, "Material fracture and burr formation in blankign results of FE simulations and comparison with experiments," Journal of Material Processing Technology 59, pp. 68-78, 1996.
- 7). S.H. Jeong, "A study in shearing mechanism by FEM," MS Thesis. Seoul National University, Korea, 1996.
- 8). Li M., "Micromechanism of Deformation and Fracture in Shearing Aluminum Alloy Sheet", International Journal of Mechanical Science, Vol. 42, 99. 907, 2000.