

회전성형법에서 Rotary Powder Compacting 공정에 관한 특성 연구

윤덕재* · 임성주* · 최석우* · 나경환*

(1997년 6월 26일 접수)

The Rotary Powder Compacting Process by the Cold Rotary Forging

D. J. Yoon, S. J. Lim, S. Choi and K. H. Na

Abstract

This study is concerned with the rotary powder compacting by the cold rotary forging process. An experiment has been carried out using the rotary powder forging press(500kN) which was designed and constructed in the authors' laboratory. The detailed comparisons of several mechanical test by rotary powder forging and rotary powder compacting process are given. It is found that the highly densified P/M parts can be obtained and this process is very effective for improving quality of the powder products.

Key Words : Rotary Forging, Powder Forging, Powder Metallurgy, Sintered Powder

1. 서론

소결공정은 필터나 무윤활 베어링 등과 같이 소결재의 다공질성을 이용하는 제품, 일반적인 방법으로는 서로 혼합하여 제조할 수 없는 텅스텐 카바이드 같은 제품, 고음질 소재 제품 및 영구자석이나 분말 고속도 공구강과 같은 분말 특성을 적절히 응용한 특수용도의 제품을 생산하기 위하여 주로 활용되어 왔다. 더욱이 소결공정은 원재료 이용률이 높고, 복잡한 형상의 제품을 생산하기 용이하며, 대량생산을 통한 원가 절감 등이 용이하여, 경쟁력 있는 우수한 공정으로 인식되면서 특수용도 제품뿐만 아니라, 일반제품 생산에도 소결공정을 응용하고자 하는 노력이 경주되고 있다.⁽¹⁾

그러나 분말 소결제품은 잔존하는 기공 때문에 제품의

밀도가 떨어져 결국 제품의 기계적 성질 등이 열악한 문제가 있으며, 후속 소결 공정 등에서 기공의 축소 등으로 발생하는 제품의 크기 변화 문제 등 때문에 기어류와 같은 정밀 제품생산에 제약을 받고 있다. 또한 분말의 혼합, 성형 및 후처리까지 연속 생산에 의한 대량생산 체계를 구축하여 제품생산에 대응하기 때문에 제품의 리이드 시간(Lead Time)이 길어져 다품종 소량생산이 어려워, 컴퓨터 제어에 의한 계획생산으로 제품의 재고와 리이드 시간 등을 줄여 제품생산의 고효율화를 꾀하고 있는 신생산체계에 대응이 어렵다.

따라서 신생산체계를 추구하고 있는 자동차 메이커 등에 제품을 납품하는 업체들에서는 큰 장애요소가 되고 있다.

그러므로 분말제품의 밀도를 향상시켜 제품품질을 안정

* 한국생산기술연구원 소성가공연구팀

시키고, 신생산체계를 구축하여 다품종 소량생산에 대응하는 것은 분말 소결 업체들의 공통된 당면과제 중의 하나로 대두되고 있다고 볼 수 있다.

고밀도 제품을 얻기 위하여 열간단조, HIP, CIP 등의 공정이 응용되고 있으나,⁽²⁾생산성이 떨어지고 제품 생산 원가가 상승되어 일반적으로 경쟁력이 없기 때문에 일부 제품을 제외하고는 널리 활용되지 못하고 있다.

필자 등이 개발한 회전성형 공정은^(3,4,5)일반 단조 공정과 달리 소재를 국부적으로 반복 가압하여 제품을 성형함으로써 발생하는 전단 변형층이 분말 소재의 기공을 줄이는데 효과적인 것으로 밝혀지고 있어 제품의 밀도 향상에 유리한 공정으로 인식받고 있으며, 국부 가압으로 제품을 생산하기 때문에 보다 작은 하중으로 제품을 생산할 수 있어 장치 및 금형의 단순화가 용이하고, 분말 소재 부터 직접 제품 생산이 가능하여 제품의 리이드 시간을 줄이고 다품종 소량생산이 가능한 공정으로 주목받고 있다.^(6,7)

따라서 본 연구팀은 회전성형 공정을 이용한 회전 분말 단조(Rotary powder forging)실험과 회전 분말성형(Rotary powder compating)실험을 통하여 분말 단조의 유용성과 분말 성형의 가능성을 검토하였다. 특히 철 분말을 이용하여 각 분말 성형공정에서의 변형 특성 등을 비교·검토함으로써 회전성형 단일 공정으로 분말에서 직접 제품을 성형하는 분말성형 공정의 제품응용 가능성을 검증하였다.

2. 회전성형 실험

회전성형 실험은 Fig. 1에서 보여주고 있는 것과 같이 회전 분말단조 공정과 회전 분말성형 공정에서 수행하였다. 먼저 회전 분말단조 공정은 Fig. 1의 (a)와 같이 분말재료부터 분말성형 프레스(40Ton급)에서의 성형과 예비소결, 윤활처리 및 회전단조, 재소결의 공정으로 이루어진다. 여기서 예비성형체(Preform)의 크기는 직경이 34.8 mm이고, 높이는 13 mm이다. 성형된 예비성형체를 1100℃에서 30분동안 알곤가스속에서 예비소결(Presintering)하였으며, 소결후의 밀도는 6.5-6.8 g/cm³정도이다.

그리고 회전 분말성형 공정은 Fig. 1의 (b)와 같이 예비성형체를 제조하지 않고 회전성형 분말단조 프레스에서 직접 분말로부터 제품을 성형하는 공정이다. 따라서 프레스 구동은 Fig. 2(a)와 같이 금형에 분말을 장입하고 프레스의 요동축 경사각이 0°인 상태에서 하부금형이 상

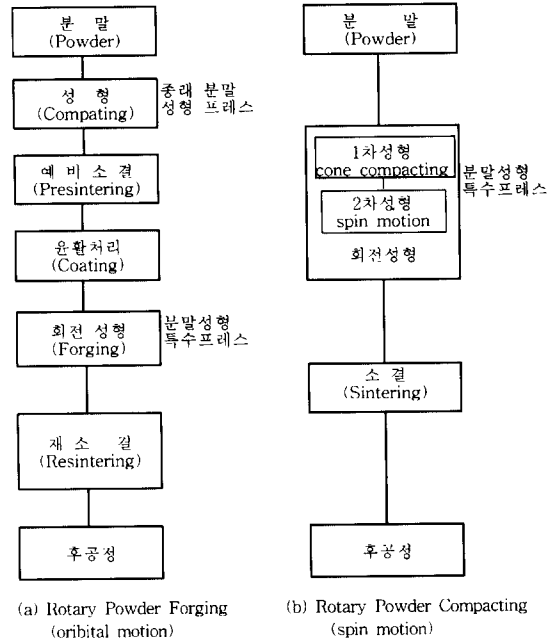


Fig. 1 Manufacturing process of cold rotary powder forging and compacting

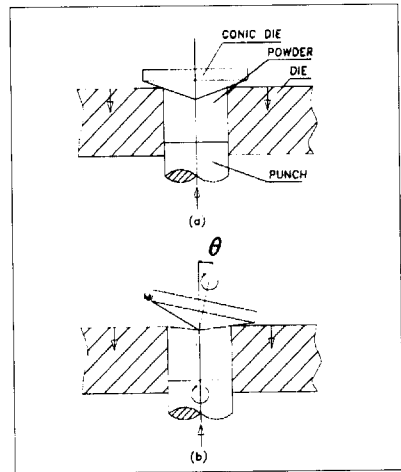


Fig. 2 Tooling for rotary powder compacting process

하면서 1차성형(Cone compacting)하고 Fig. 2(b)와 같이 상부금형이 6°로 기울워진 상태에서 하부금형이 회전하면서 2차 성형하게 된다. 본 실험에서 이용된 회전성형 분말단조 프레스는 상부금형의 경사각이 0~6°까지 조절할 수 있도록 설계되었으며, 상하금형의 자전운동(Spin motion)과 상부금형의 궤도 운동(Orbital motion)을 할



Fig. 3 Overview of rotary powder forging press

수 있도록 제작된 특수 프레스이다. 프레스의 최대 성형하중은 50톤이고, 최대 성형압력은 175 kg/cm²이다.(Fig. 3참조)⁽⁵⁾

두 실험에서의 적용된 회전성형 조건은 Table 1과 같으며, 회전당 가압속도가 동일하도록 하부금형의 가압속도를 조정하여 수행하였으며, 최종 회전성형 후의 치수는 직경이 35 mm와 높이 9 mm으로 성형하였다.

Table 1 Experimental variables

Process	Conical angle of upper die	Die motion	Lubricant	Spiral speed	Sintering Temperature
Rotary powder forging	6°	Orbital	MoS ₂	0.5-1 mm/rev	1100°C x60min
Rotary powder compacting	6°	Spin	MoS ₂	0.5-1 mm/rev	1100°C x60min

3. 실험결과 및 고찰

3.1 밀도 변화

회전성형 분말 단조 프레스를 이용하여 제품을 성형한 후 소결한 결과 Fig. 1 (a),(b) 두 방법 모두 7.5 g/cm³ 이상의 제품밀도를 얻는 데는 별 문제가 없었다. 그러나 분말로부터 직접 제품을 성형하는 회전 분말 성형방법(Fig. 1(b)방법)에서는 소결 전후에 밀도 변화가 회전 분말 단조(Fig. 1(a)방법)의 것보다 큰 것으로 나타났다.

Fig. 4는 회전 분말성형과 분말단조된 시편을 소결전·

후에 따른 밀도변화율을 나타내고 있다. 여기서 밀도변화율은 다음식으로부터 구하였다.

$$\text{밀도변화율} = \frac{\text{소결후의 밀도} - \text{소결전의 밀도}}{\text{소결전의 밀도}} \quad (1)$$

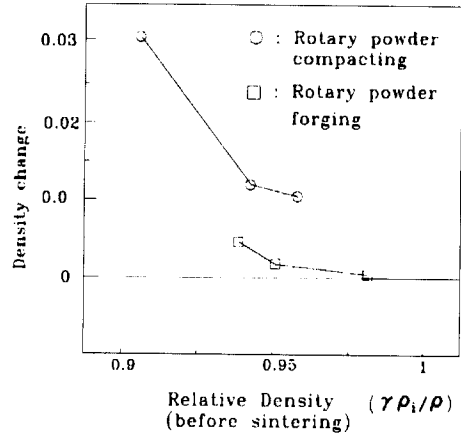
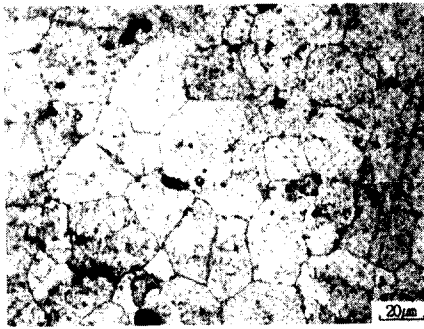


Fig. 4 Density changes of before and after sintering

그림에서도 알 수 있듯이 회전 분말단조된 시편의 경우 소결전· 후에 밀도변화가 거의 없다. 이것은 회전 분말단조 공정은 이미 예비소결에서 소결수축 등의 소결효과가 어느 정도 진행된 상태에 있기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 제품의 정밀도가 보다 중요한 정밀 제품의 성형이 요구되는 경우에는 같은 밀도의 제품이라도 회전 분말 성형 공정보다 회전 분말 단조 공정으로 성형하는 것이 정형 생산 측면에서 유리한 것을 알 수 있다.

3.2 미세 조직

Fig.5는 회전 분말성형과 회전 분말단조후 소결된 시편의 단면을 경면가공하여 광학 현미경에서 500배율로 촬영한 미세조직을 보여주고 있으며, Fig.5(a)는 회전 분말 성형 공정에서 성형된 시편을 소결후의 미세조직이고, Fig. 5(b)는 회전 분말단조후 재소결처리된 시편의 미세조직을 보여주고 있다. 여기서 회전 분말단조후의 그레인(grain)크기는 회전 분말성형된 시편의 그레인보다 크게 나타나고 있다. 그 원인은 회전 분말단조공정은 예비소결과 재소결과정에서 회전 분말성형공정보다 소결시간이 길어진 결과라고 판단된다.



(a) Rotary powder compacting



(b) Rotary powder forging

Fig. 5 Microstructure of sintered specimens by rotary powder compacting and forging process

3.3 성형 하중

회전 분말성형 공정에서 1차 성형(Cone compacting)은 Fig. 2(a)와 같이 상부금형의 경사각이 0° 이기 때문에 일반 분말성형 프레스에서와 같은 가압성형 방식이므로 일반 분말성형과 비슷한 50톤 정도의 성형하중이 소요되었으며(Fig. 6), 2차 성형에서는 Fig. 2(b)와 같이 상부금형을 6° 로 경사지게 하여 곧바로 회전 분말 단조 공정에서처럼 재가압함으로써 1차 성형의 약 1/2 정도인 25톤으로 7.5g/cm^3 이상의 성형 밀도를 얻을 수 있었다.(Fig. 7참조). Fig. 7은 회전분말 단조 공정과 회전 분말 성형 공정에서 소요 성형하중의 변화에 따른 시편의 밀도 변화를 나타내고 있다. 각각 10톤 및 20톤 정도 이상으로 가압하였을 경우 7.4g/cm^3 이상의 밀도를 얻을 수 있음을 알 수 있었으며, 이는 분말을 일반성형 프레스에 성형할 때의 하중보다 매우 작음을 알 수 있으며, 기존 방법보다 작은 성형하중으로 고밀도 제품을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

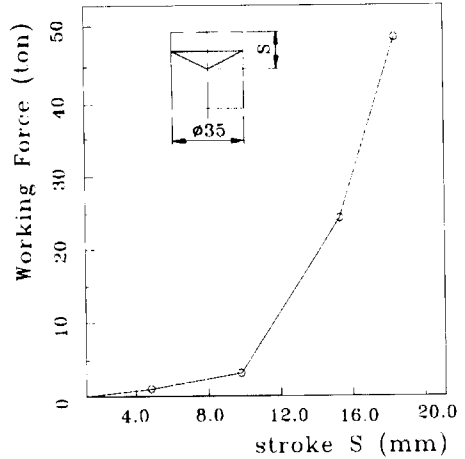


Fig. 6 Relationship between working force and stroke for cone compacting

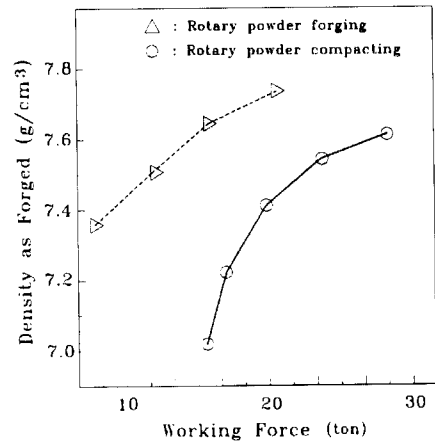


Fig. 7 Comparison of density as forged between rotary powder forging and powder compacting for working force($f=0.5\text{mm/rev}$)

또한 Fig. 7에서 회전 분말단조 공정이 회전 분말성형 공정에 비하여 보다 작은 하중으로 고밀도 제품을 얻을 수 있는 것으로 나타나고 있으나, 이는 회전 분말단조 공정의 경우 예비성형체의 제조공정에서 1120°C 에서 30분간 수행되는 예비소결로 인하여 시편의 응력완화와 밀도상승이 야기되기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 8에서는 상부금형 1회전당 가압속도를 변화시킨 경우 가압속도의 조건에 따라 성형하중의 변화추이를 살펴본 그림이다. 1회전당의 가압속도가 작을수록 하중이

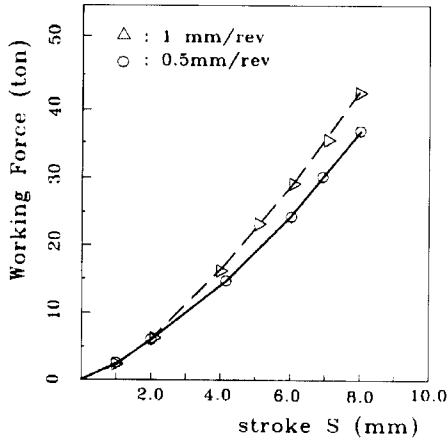


Fig. 8 Influence of working force and spiral feed on stroke as rotary powder compacting process

적게 소요됨을 알 수 있다. 이는 1회전당의 가압속도에 따라 소재와 상부금형사이의 접촉면적이 달라지기 때문인 것으로 판단된다⁽⁴⁾. 따라서 회전단조 성형시 1회전당의 가압속도를 작게하는 것이 작은 소요하중을 유도하므로 금형제작, 금형 수명 등에 유리한 것으로 나타나고 있으나, 제품내부의 변화 즉 소재내부의 경도 분포 등의 검증이 이루어지지 않는 현 상태에서는 성급히 결론 내리기 어렵다. 소결공정 중에 이와 같은 제품내부의 불균일성은 어

느정도 소멸되고 있는 것으로(Fig. 9참조) 예측되고 있으나 차후 보다 정밀한 검증이 필요하다고 판단된다.

3.4 경도 시험

회전 성형법에서 회전 분말성형과 회전 분말단조 공정 사이의 변형특성을 비교, 검토하기 위해 성형밀도가 95% 이상인 시편으로부터 직경에 따라 수직으로 전단된 면에서 경도를 소결전 후에 각각 측정하였다. Fig. 9에서 소결전의 경도분포는 회전 분말성형 공정이 회전 분말단조 공정에서 성형된 시편의 경도값보다 크게 나타내고 있다. 이것은 성형하중의 설명에서와 같이 분말로부터 직접 성형함에 따라 가공 경화(work hardening)가 분말단조 공정보다 더 큰 것이 주 원인으로 사료된다. 그리고 경도값의 최대와 최소의 차이가 크게 나타내고 있는 것도 같은 원인이라고 사료된다.

또한 성형된 시편을 1100℃에서 60분동안 알곤가스 속에서 소결(Sintering)한 후 경도값이 소결전의 시편보다 작게 나타내고 있다. 이것은 소결과정에서 가공경화가 풀린 것과 그레인 크기가 증가하여 발생된 원인으로 사료된다. 그리고 경도값이 두공정에서 비슷하게 나타내고 있다. 소결후 시편의 경도분포는 수직·수평방향에서 비교적 일정하게 나타나고 있어 시편 거의 모든 부분에서 균일하게 치밀화되고 있는 것으로 판단된다. 따라서 제품적 가치가 비교적 높다는 것을 알 수 있었다.

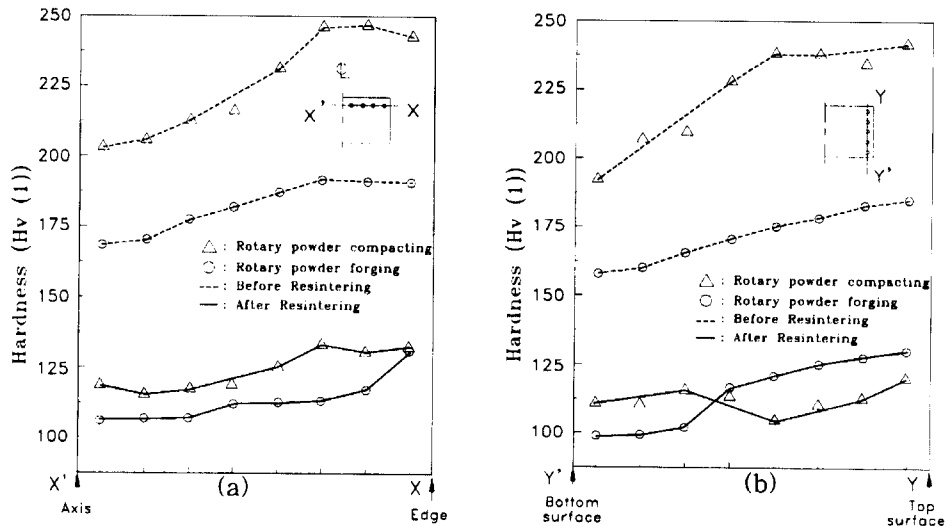


Fig. 9 Distributions of hardness for different cold rotary forging process and sintering(f=0.5mm/rev)

4. 결 론

회전 성형법을 이용한 회전 분말단조 공정과 회전 분말 성형 공정에서 성형된 시편의 변형특성을 비교, 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 일반 분말 단조 공정보다 낮은 하중으로 고밀도의 제품을 얻을 수 있었으며, 회전 분말단조 공정이 회전분말 성형 공정보다 작은 성형력으로 고밀도 제품을 얻을 수 있었다.

(2) 1회전당 가압속도에 따라 성형하중의 차이는 크지 않았으나, 1회전당 가압속도가 작을수록 성형하중 측면에서 유리한 것으로 나타났다.

(3) 회전 분말단조 공정이 회전 분말성형 공정보다 밀도 변화량이 작은 것을 알 수 있었다. 따라서 고정도의 제품이 요구되는 경우 회전분말단조 공정쪽이 보다 유리함을 알 수 있었다.

(4) 성형된 시편의 상하면에서 비교적 균일하게 치밀화됨을 알 수 있었다.

(5) 회전 분말성형 공정은 예비성형체의 제조공정이 없기 때문에 공정 단축으로 인한 원가절감과 고밀도 제품을 용이하게 얻을 수 있는 장점을 갖는 반면 밀도 변화량은 분말단조 공정보다 약간 크게 나타내는 단점을 갖고 있다. 따라서 제품의 치수가 정밀하게 요구되지 않는 제품인 경우 회전 분말성형 공정이 유리하다고 판단된다.

참고문헌

- (1) G. Petzow, H. E. Exner, 1987, "A Retrospective of Powder Technology", Powder Metallurgy International, Vol. 21, No. 2, pp.9~13.
- (2) W. J. Huppmann and M. Hirschevigel, 1978, "Powder forging", International Metals Reviews, 1978, No. 5, PP.209~235.
- (3) Slick, E. E., US Patent Specification No. 965032, 19 July 1910.
- (4) P. M. Standring, 1989, "Rotary forging-a technical review", Met. J., pp.9~16.
- (5) 윤덕재, 나경환, 김영은, 1995, "회전성형법에 의한 분말단조 제품특성에 관한 연구", '95춘계학술대회 논문집, 한국소성가공학회, pp.31~40.
- (6) P. M. Standring, 1989, "The Rotary Consolidation Loose Powder to high Density", The Materials, Revolution Through the 90' S Powder Metal Matrix Composites CONF., pp.17.1~17.11.
- (7) Jerzy Pregowski, 1990, "Rotary cold repressing", '90 Advances in powder metallurgy, Vol. 1, pp.341~355.
- (8) Katsushi Kubo, Yukio Hirai, Shiro Ogiso, and shoji Ito, 1973, "Preliminary Work of Rotary Forging Process with an Experimental Press", J. JSTP., Vol. 14, NO. 151, pp.648~655.