

# 회전성형법에 의한 분말성형체의 고밀도화 연구

윤 덕재\*, 임 성주, 최 석우, 나 경환  
한국생산기술연구원 소성가공연구원

## The Cold Rotary Repressing Process of Sintered Preform

D. J. Yoon\*, S. J. Lim, S. Choi, K. H. Na  
Advanced Forming Technology Team  
Korea Institute of Industrial Technology

### Abstract

This study is concerned with the cold repressing of sintered preform by rotary forging process. A experiment has been carried out using the rotary powder forging press(500kN) which was designed and constructed in the authors' laboratory. The effect of process variables and aspect ratios of sintered preform was observed and measured by several mechanical test, such as working force, hardness distribution, density, and microstructures of the specimens. 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,

### 1. 서론

분말 소결제품은 소결재의 다공질성을 이용한 무윤활 베어링 등에 널리 사용되어 왔으며, 특히 기존 가공방법으로 생산하기 어려운 제품을 손쉽게 제작할 수 있어 고 용점 금속의 제조 및 복합재료 등의 생산에서 활용되고 있다. 또한 재료 이용률과 가격 경쟁력인 측면에서도 많은 장점을 갖고 있어 산업전반에서 다양하게 응용되고 있다. 그러나 소결제품은 내부의 기공과 크기 및 입자간의 결합력 등에 의해 제품의 기계적 성질 등이 열악하여 기계부품이나 자동차 부품 등과 같은 적절한 강성과 강도를 유지하여야 하는 분야에는 매우 제한적으로 적용되어 왔다<sup>1)</sup>. 또한 불충분한 밀도 때문에 후속 공정에서 제품의 크기가 변화됨에 따라 여러 가지 곤란한 문제를 야기시켜 왔다. 따라서 소결제품의 밀도를 향상시키는 방법 등으로 이러한 문제를 해결하여 보다 많은 분야에 소결제품을 널리 응용하고자 여러가지의 노력이 전세계적으로 다각도로 추진되고 있으나, 그 성과는 아직 미흡하다<sup>2)</sup>.

최근 선진국에서는 회전단조 프레스가 개발되어 널리 보급됨에 따라 회전성형법에 대해 새롭게 인식하면서, 회전성형법의 장점을 이용하여 분말단조 공정을 개선하기 위한 연구가 진행되고 있다<sup>3)</sup>. 회전성형법은 프레스의 축 중심에 대하여 일정한 각도로 경사져 있는 원추형상의 상부금형을 축 중심에 대하여 회전시키고, 소재를 상승 가압하면 상부금형과 소재가 순차적으로 접촉하면서 제품을 성형하는 공정으로, 다른 가공법에서 볼 수 없는 전단 영역의 이동에 의하여 밀도를 향상시키는데 유리하고 가공한계를 극복할수 있어 제품의 질적 향상과 생산 원가를 절감하는데 효과적이라는 연구사례가 발표되고 있다<sup>4-5)</sup>.

국내에서도 분말단조에 대해 새롭게 인식하고 있으며, 여러 가지 공정 개선의 필요성이 요구됨에 따라 본 연구팀에서도 회전성형법을 이용한 전용 분말성형 특수프레스의 개발과 아울러 분말단조의 적용 가능성에 대해 검토하기 시작하였다<sup>6)</sup>. 따라서

본 논문에서는 회전성형법을 이용한 냉간 분말단조의 기초자료 및 공정의 우수성을 검증하고자 원통 시편으로부터 회전 성형조건과 예비성형체의 형상비에 따라 변형특성을 파악하고자, 성형하중, 경도, 밀도, 미세조직 등의 변화에 대해 조사하였다.

## 2. 실험

### 2-1 시편 준비

본 실험의 제조공정은 그림 1에서 보여주고 있다. 여기서 순철 분말재와 순동 분말재를 단축 프레스(40Ton급)에서의 성형과 예비소결 공정을 거쳐 제조하였다. 예비성형체(Preform)의 크기는 직경이 31mm에서 형상비가 각각 0.3, 0.5, 0.8이 되도록 표 1과 같이 성형하였다. 이와 같이 성형된 예비성형체를 알곤가스 속에서 순철분의 경우 1120℃에서 30분간 예비소결(presintering)하였고, 순동의 경우 750℃에서 30분간 소결하였다. 예비소결후의 밀도는 순철의 경우 6.5-6.8g/cm<sup>3</sup> 정도이고, 순동은 7.0-7.5g/cm<sup>3</sup>정도가 되었다.

### 2-2 회전 분말 단조 실험

본 실험에서 이용된 회전성형 분말단조 프레스는 그림 2와 표 2에서 프레스의 외관과 사양을 나타내고 있다<sup>6)</sup>. 본 실험장치는 상부금형의 경사각이 0-6°까지 조절할 수 있는 가변형으로 상부금형의 운동모양은 자전운동(Spin motion)과 궤도운동(Orbital motion)을 할 수 있도록 제작된 것이다. 그리고 분말 성형의 다양한 실험과 분말단조 공정의 제반인자 등을 파악하기 쉽게 설계 제작된 것이다. 이와 같이 개발된 회전성형 분말단조 프레스의 최대 성형하중은 50톤이고, 최대 성형 압력은 175kg/cm<sup>2</sup>이다.

본 공정에서 적용된 회전성형 조건은 상부금형의 경사각은 3°이며, 상부 금형의 운동모양은 궤도 운동(Orbital motion)으로 실험하였다. 1회전당 가압량은 0.3-1 mm/rev에서 성형하였다. 여기서 상부금형 회전속도는 200rpm으로 회전당 가압량을 맞추기 위해 가압속도를 조정하여 실험을 수행하였다. 회전 분말단조 실험에서 사용된 윤활제는 단조 윤활제로 많이 사용되고 있는 MoS<sub>2</sub>를 시편에 도포하여 성형중에 금형면과 소재사이에 마찰을 줄여 성형 하중의 감소와 제품 취출시에 성형체의 파손을 방지하였다. 그리고 회전 성형된 순철과 순동시편을 각각 1100℃와 750℃에서 60분동안 알곤가스 속에서 재소결(Resintering)하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3-1 밀도 및 치수변화

회전 분말단조 실험 후 치수변화를 표 3에서 나타내고 있다. 시편을 회전 분말단조 조한후 상대밀도는 95%이상 되는 높이까지 성형하였다. 그림 3에서는 회전 분말단조 전후의 시편을 보여주고 있으며, 상부쪽이 예비성형체이고 아래쪽이 단조된 시편이다.

### 3-2 성형 하중

그림 4는 형상비가 0.5인 시편을 1회전당 가압속도가 0.5mm/rev인 조건에서 성형할때 소요 성형하중과 밀도 사이의 관계를 보여주고 있으며, 밀도가 증가할수록 성형하중도 증가하는 것을 나타내고 있다. 순철분말재의 경우 6.8g/cm<sup>3</sup> 밀도를 갖는 예비성형체를 7.5g/cm<sup>3</sup>이상의 밀도로 증가시킬 때는 약 20 ton의 성형하중이 소요되는 것을 보여주고 있다. 실험결과 40ton급의 기계식 분말 성형 프레스에서 6.5-6.8g/cm<sup>3</sup>의 밀도를 갖는 예비성형체를 얻은 반면, 회전 분말 단조기의 경우는 20ton정도의 성형하중으로 7.5g/cm<sup>3</sup>이상의 밀도를 얻어 전면 압축법과 비교하여 비교적 작은 하중으로

고밀도의 제품을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

그림 5는 형상비가 0.5인 순철분말재의 예비성형체를 회전당 가압속도 0.3과 1mm/rev으로 가압하였을 때에 밀도와 성형하중의 변화를 나타내고 있다. 여기서 회전당 가압속도에 따른 소요성형 하중은 낮은 밀도에서 회전당 가압속도가 큰쪽에서 약간 크게 나타내고 있으나, 밀도가 증가할수록 소요하중의 차이가 없는 것으로 나타내고 있다. 이것은 성형밀도가 진밀도에 가까워 질수록 재료의 변형저항이 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

### 3-3 미세 조직

그림 6는 순철재인 예비성형체와 회전 분말단조후 소결된 시편의 단면을 경면가공하여 광학 현미경에서 50배율로 촬영한 그림이며, 여기서 작고 검게 보이는 것이 기공이다. 그림 6(a)는 6.8g/cm<sup>3</sup>의 밀도를 갖는 예비성형체의 단면으로 많은 기공을 보여주고 있으며, 그림 6(b)는 회전 분말단조후 밀도가 7.5g/cm<sup>3</sup>인 시편으로부터 소결 처리후의 기공분포를 보여주고 있다. 여기서는 기공의 크기가 상당히 작아진 것을 확인할 수 있었다.

### 3-4 경도 시험

회전 성형조건과 재소결 조건이 제품특성에 미치는 영향을 파악하기 위해 분말단조후 성형밀도가 95%이상인 시편으로부터 직경에 따라 수직으로 전단된 면에서 경도를 측정하였다. 그림 7에서는 형상비가 0.5인 순철재 시편으로부터 회전 분말단조공정에 따라 경도분포의 변화를 나타내고 있다. 그림의 (a)는 예비성형체의 경도값이고, (c)는 예비성형체로부터 회전당 가압속도를 0.5mm/rev에서 회전성형된 시편의 경도값으로서 밀도는 7.5g/cm<sup>3</sup>이다. (b)는 회전 분말단조된 시편을 1100℃에서 60분간 알곤 분위기에서 소결된 시편의 경도값이다.

여기서 예비성형체의 경도분포는 외경 부근보다 중심면에서 경도값이 크게 나타내고 있다. 회전 성형된 시편의 경도분포는 예비성형체와 비교하면 상당히 상승하였다. 경도의 상승은 기공의 감소와 가공경화(work hardening)에 의한 것으로 본다. 그러나 재소결후의 시편은 여전히 예비성형체보다는 상당히 큰 경도값을 나타내고 있으며, 회전성형된 시편보다 경도값이 작게 나타내고 있다. 이것은 소결과정에서 가공경화가 풀린 것과 그레인 크기가 증가하여 발생된 원인으로 사료된다.

그림 8은 형상비에 따라 성형된 순철재 시편을 높이 방향으로 측정된 경도분포를 나타내고 있다. 여기서 예비성형체의 상대밀도가 80%인 것을 95% 이상의 밀도분포로 성형된 시편이다. 그림에서 형상비가 클수록 상부면과 하부면사이에서 경도값의 차가 약간 크게 나타내고 있다. 이것은 형상비가 클수록 하부면보다 상부면에서 변형이 큰 것으로 나타내고 있다.

그림 9는 형상비가 0.5인 순철재 시편으로부터 1회전당 가압속도 변화에 따라 성형된 시편의 상부면에서 측정된 경도분포를 보여주고 있다. 시험 결과를 보면 회전당 가압속도가 작을수록 경도값이 크게 나타내고 있다. 이것은 회전당 가압속도가 작을수록 시편과 상부금형사이의 접촉면적이 작아지므로 성형부의 성형압력이 증가하여 발생된 원인으로 사료된다.

그림 10은 순동분말재로부터 예비성형체와 회전 분말단조된 시편 및 단조후 800℃에서 60분간 소결한 시편의 경도분포를 나타내고 있다. 여기서 예비성형체의 밀도는 7.3g/cm<sup>3</sup>이고 회전당 가압속도를 0.5mm/rev으로 성형된 시편의 밀도는 8.61g/cm<sup>3</sup>이다. 경도분포는 순철분말재의 경우와 같은 경향을 보여주고 있다.

## 4. 결론

회전 성형법을 이용한 분말단조 공정에 대한 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결

론을 얻을 수 있었다.

- (1) 종래 성형법과 비교하면 작은 성형력으로 고밀도 제품을 얻을 수 있었다.
- (2) 회전당 가압속도에 따라 성형하중의 차이는 크지 않았다.
- (3) 회전당 가압속도가 작을 수록 경도값은 대체적으로 크게 나타내었다.
- (4) 시편의 상하면에서 비교적 균일하게 치밀화된 것으로 판단된다.
- (5) 제한된 실험 결과이지만, 본 회전성형 방식에 의한 냉간 분말단조 공정은 기존 분말야금 공정에 추가되는 공정으로 공정추가에 대한 부담이 있지만, 제품의 고밀도화 시키는데 적용되고 있는 열간 재가압 방법 등과 비교하면 생산공정의 단축과 고밀도 제품을 보다 쉽게 얻을 수 있어 향후 제품개발의 가능성이 크다고 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 정형식, 이정환, 이동원, 이영선, 박종진, 1993, "분말 단조 기술의 현황", 대한 금속 학회보, Vol. 6, No. 4, pp. 362-375.
2. D. Whittaker, 1991, "Powder metallurgy for gear productions current status and potential future trends", Materials & Design, Vol. 12, No. 2, pp. 97-100.
3. P. M. Standring, 1989, "Rotary forging- a technical review", Met. J., pp. 9-16.
4. J. R. Moon and P. M. Standring, 1986, "Rotary forging for high density powder compants", Met. Mater., Vol. 2, No. 4, pp. 206-210.
5. Liu Gui-Qing, 1984, "Application of Rotary forging Process in Processing Thrust Bearing of Steering Axle", ROMP3, pp. 94-100.
6. 윤덕재, 나경환, 김영은, 1995, "회전 성형법에 의한 분말단조 제품특성에 관한 연구", '95춘계학술대회논문집, 한국소성가공학회, pp. 31-40.

Table 1 Dimensions of sintered preform.

Do	31	31	31	
Ho	24	15.5	9	
Ho/Do	0.8	0.5	0.3	

Table 3 Comparison of thickness between sintered preform and forged specimens.

Material	Aspect ratio	Thickness(mm)	
		Sintered preform	Forged
Pure Iron	0.3	9.5	5.45
	0.55	17	12
	0.77	24.8	15.5
Pure Cu	0.3	9.3	6.08
	0.55	17.35	12.81
	0.8	24.8	16.6

Table 2 Specification of rotary powder forging Press.

Specification		
Upper die motion	Orbital, Spin motion	
Inclination angle	0 - 6 °	
Pressing force	Max	500 KN
	Working	400 KN
	Ejecting	120 KN
Speed	Rocking shaft rotating speed	0-300 rpm
	Lower die rotating speed	0-75 rpm
	Spiral feed	0-3mm/rev
	Main ram speed	0-25mm/sec
	Ejecting speed	0-10mm/sec
Pressure	Main	17 MPa
	Working	14 MPa
	Ejecting	14 MPa
Day light	200 mm	
Orbital main motor	15 kWx6P	
Length* Width* Height	900x900x2500(mm)	
Weight press	5,000 kg	

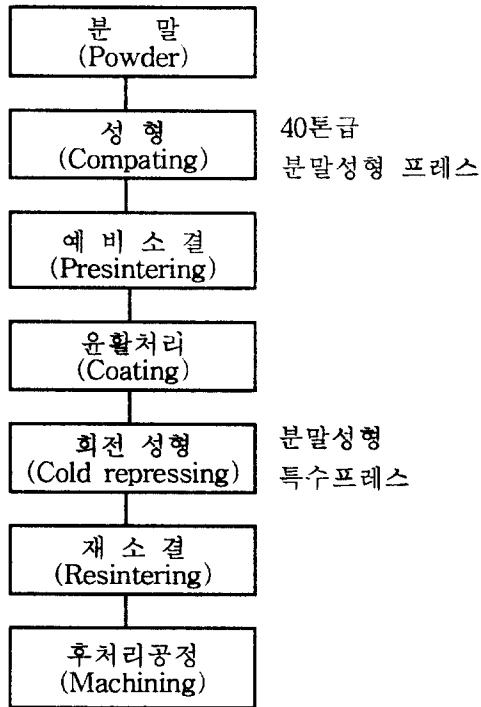


Fig. 1 Cold rotary repressing process.

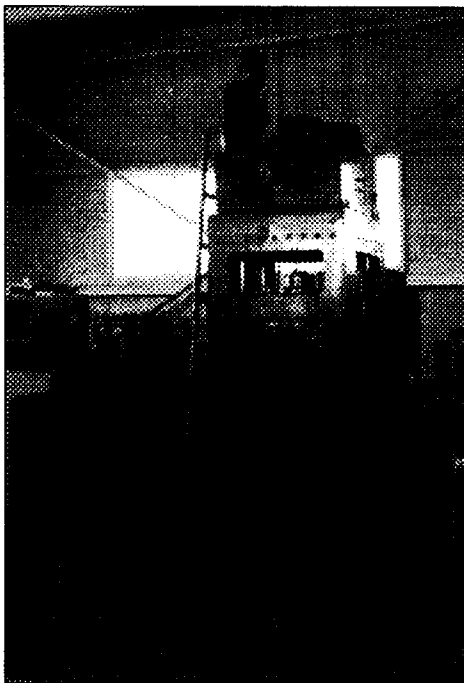


Fig. 2 Overview of rotary powder forging press.

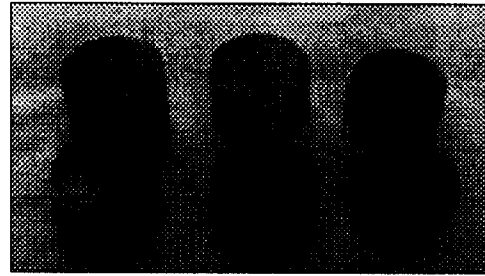


Fig. 3 Sintered(upper) and forged(lower) specimen.

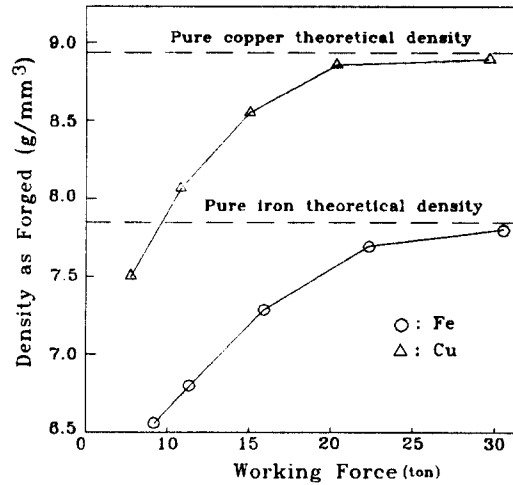


Fig. 4 Effects of the working force on the density of the repressed specimen.

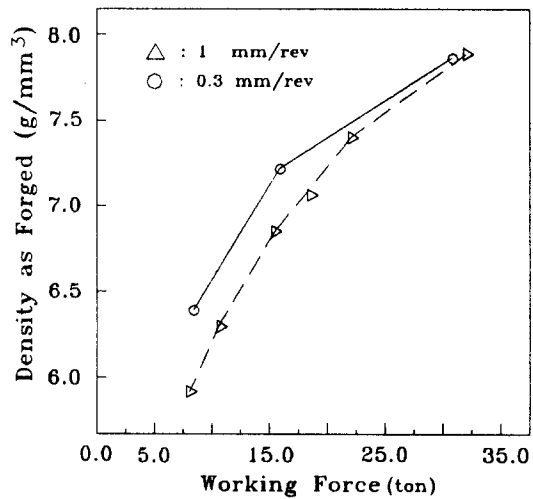
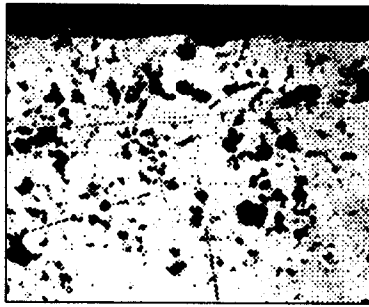


Fig. 5 Influence of working force and spiral feed on density as forged (pure iron).



(a) Preform (6.8 g/mm<sup>3</sup> x50)



(b) Reprising (7.6 g/mm<sup>3</sup> x50)

Fig. 6 Microstructures of Sintered preform and resintered specimen after cold rotary repressing.

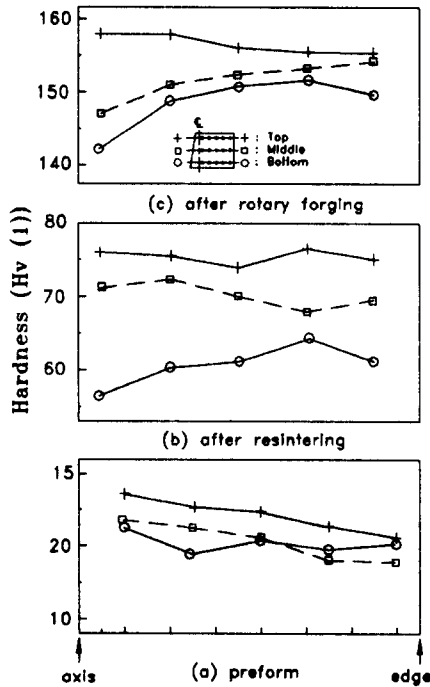


Fig. 7 Variations of hardness distribution according to several process (pure iron).

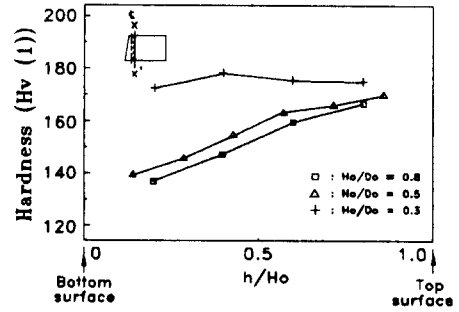


Fig. 8 Distributions of hardness for different aspect ratio (pure iron).

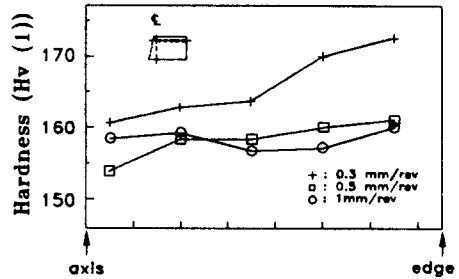


Fig. 9 Distributions of hardness for different spiral feed (pure iron).

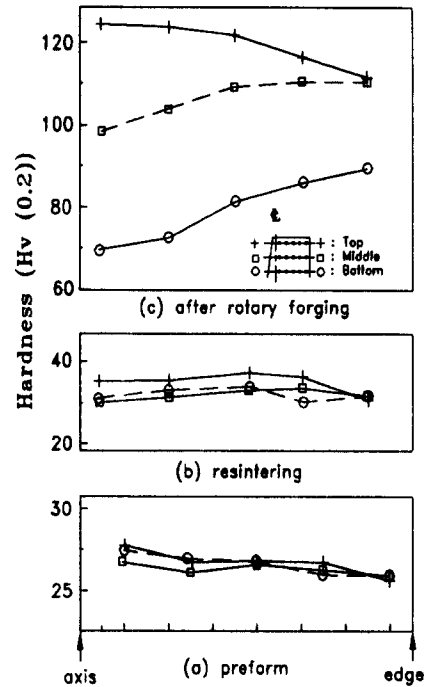


Fig. 10 Variation of hardness distribution according to several process (pure copper).