분말 표면 조도의 3차원 레이저 분석기를 이용한 정량화와 압분성형체 강도에 미치는 영향 분석

이동준 · 윤은유 · 김하늘^a · 강희수^a · 이언식^a · 김형섭^{*}
포항공과대학교 신소재공학과, ^a포항산업과학연구원 신금속연구본부

Quantitative Analysis of Roughness of Powder Surface Using Three-Dimensional Laser Profiler and its Effect on Green Strength of Powder Compacts

Dong Jun Lee, Eun Yoo Yoon, Ha Neul Kim^a, Hee-Soo Kang^a,
Eon Sik Lee^a, and Hyung Seop Kim^{*}

Department of Materials Science and Engineering, POSTECH
(Pohang University of Science and Technology), Pohang 790-784, Korea
^aNew Materials Research Department, RIST, Pohang 790-784, Korea
(Received July 3, 2011; Revised July 17, 2011; Accepted July 31, 2011)

Abstract Green strength is an important property of powders since high green strength guarantees easy and safe handling before sintering. The green strength of a powder compact is related to mainly mechanical and surface characters, governed by interlocking of the particles. In this study, the effect of powder surface roughness on the green strength of iron powders was investigated using a transverse rupture test. Three-dimensional laser profiler was employed for quantitative analyses of the surface roughness. Two different surface conditions, i.e. surface roughness, of powders were compared. The powders having rough surfaces show higher green strength than the round surface powders since higher roughness leads increasing interlocked area between the contacting powders.

Keywords : Water atomized Fe powder, Green strength, Surface roughness, Three-dimensional laser profiler

1. 서 론

분말야금법에서 소결 부품을 제조하는 가장 일반적인 방법은 분사법으로 제조된 철분말을 금형에서 압축 성형하여 일정한 형상을 만들고, 이 성형품을 용점 이하의 온도와 환원분위기 중에서 소결시키는 공정이다. 공정의 특성상 작고 복잡한 형상의 기계 부품을 대량으로 생산할 수 있고, 경제성과 재료 절감효과를 얻을 수 있는 장점이 있다. 또한 자동차, 산업기계 및 전자산업의 발달로 소결품의 수요량이 급증하였고, 주요 원료인 철분 또한 그 수요량이 많

은 실정이다.

성형압분체의 강도값은 일반적으로 항절력(transverse rupture strength, TPS) 시험으로 측정을 한다. 소결 하지 않은 성형체의 성형강도(green strength)는 소결 후 부품의 강도에도 직접적인 영향을 미친다. 또한 소결 전 제품의 가장자리 부분에서 생길 수 있는 마모나 부스러짐과 같은 결함 현상이 압분체 강도와 밀접한 관계가 있기 때문에, 성형성(compressibility)과 함께 분말의 특성을 평가하는 중요한 지표 중 하나이다[1,2]. 분말의 성형성과 성형강도에 영향을 미치는 중요한 요인으로는 분말의 형상, 크기, 크기 분포, 분

*Corresponding Author : [Tel : +82-54-279-2150; E-mail : hskim@postech.ac.kr]

Fig. 1. (a) Dimensions of green strength testing specimen and (b) schematic of transverse rupture test.

말간의 마찰력 등이 주로 언급된다[3-10]. 특히 분말의 형상에 따라 성형성 및 성형강도는 많은 영향을 받는다[5]. 하지만, 분말의 특성을 정성적으로 묘사하기는 쉬우나, 정량적으로 분말의 형상을 정의하기는 쉬운 일이 아니다. 분말 형상에 대한 정량적인 측정 기준은 일반적으로 광학이나 주사전자 현미경을 이용하여 분말의 가장 긴 길이를 가장 짧은 길이로 나눈 종횡비(장단축비; aspect ratio)가 있다. 하지만 같은 모양을 가진 분말이라도 표면의 상태가 다르면, 분말간의 마찰력 및 응집력 등의 차이로 인하여 성형성 및 성형강도 등이 큰 폭으로 달라지게 된다. 분말에 대한 기존의 표면상태의 정량적인 측정은 원자힘현미경(atomic force microscopy, AFM)을 이용하여 분말 표면을 스캔하거나 가스흡착 표면적 분석법, 가스투과 표면적 분석법 등을 이용하여 분말의 표면적을 정량화 하는 것이다. 그러나 이러한 방법은 측정시간이 많이 걸리고, 표면 조도에 대한 정확한 절대값을 얻기는 쉽지는 않다. 그러나, 분말의 표면조도가 압분강도에 결정적으로 영향을 끼친다는 사실은 정성적으로 잘 알려진 것이므로, 분말의 표면조도를 빠르고 정확하게 정량화시킬 수 있다면 분말야금분야의 새로운 연구방법으로서 사용될 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 3차원 레이저 분석기를 이용하여 수분사 순철 분말의 표면조도에 대한 정량적인 측정과 표면조도가 다른 두 분말을 이용하여 성형강도 시험 후 표면 특성이 성형강도에 미치는 영향에 대하여 살펴보고자 한다.

2. 실험방법

이번 실험에서 사용된 분말은 수분사로 제조된 순

철분으로서, 분말의 표면 형태가 다른 두 가지의 분말을 선택하였다. 분말의 크기와 형상은 주사전자현미경(SEM: 5410 JSM)을 이용하여 관찰하였다. 분말 표면의 조도를 정량화하기 위하여 3차원 레이저 표면분석기(3D-Laser Profiler: Wyko Veevo/NT1100)를 사용하여 분말 각각 표면의 조도값(R_a)을 정량적으로 측정하였다. 이 장비를 이용하면 분말의 형상을 3차원으로 표현하여 볼 수 있고, 특정 구간의 표면조도를 정량화할 수 있다. 본 실험에서는 분말 표면의 약 30 μm 의 표면조도 값을 40회 측정하여 그 평균값을 구하였다.

분말성형체의 압분강도 측정을 위한 굽힘강도 시험은 국제표준화기구 ISO 3995(Metallic powders-Determination of green strength by transverse rupture of rectangular compacts) 규격에 따라 평가하였다. 고체 윤활제인 아연스테아린산염(Zinc-stearate)를 0.6 wt% 섞은 철분말 15 g을 너비 12 mm, 길이 30 mm 인 사각 금형에 넣고, 400 MPa의 일정한 압력으로 압축을 실시하여 그림 1(a)와 같은 직사각형 시편을 제작하였다. 이렇게 제작된 시편을 그림 1(b)에 나타낸 항절력 시험기구의 중앙에 위치하도록 설정한 뒤, 0.1 mm/s의 일정한 속도로 압축력을 가하였다. 분말성형체가 파단이 될 때의 힘을 $P(N)$ 이라 하면, 성형체 강도 S 는 $N/\text{mm}^2(\text{MPa})$ 으로 표시하며, 다음 식으로 구한다.

$$S = \frac{3 \times P \times L}{2 \times l^2 \times w} \quad (1)$$

여기서 L 은 시험기의 받침대 축간 거리, l 은 시험편의 두께, w 는 시험편의 폭을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

수분사법을 이용하여 제조한 순철 분말의 모양은

Fig. 2. Morphology of Fe powders formed by water atomization: (a) powder A and (b) powder B.

Table 1. Green compacts characteristics and average surface roughness of powders

Powder	Height (mm)	Green density (g/cm ³)	Max. load (N)	Green strength (MPa)	R _a (µm)
A	5.794(±0.006)	7.190(±0.008)	263.05(±2.55)	19.580(±0.225)	5.420(±2.25)
B	5.674(±0.030)	7.319(±0.036)	97.022(±3.63)	7.477(±0.234)	3.212(±1.70)

일반적으로 불규칙적인 형상을 보이는 것이 특징이다. 그림 2는 본 실험에서 사용한 순철 분말 A와 B의 주사전자현미경 사진이다. 두 분말 모두 불규칙한 형상을 보이는 것으로 관찰되었다. 하지만 분말 A의 형상은 일반적으로 말하는 불규칙한 (irregular) 모양인데 반하여, 분말 B는 표면이 둥근 (rounded) 모양에 더 가까운 것으로 판단할 수 있다[11].

항절력 시험에 의하여 측정한 두 분말의 특성은 표 1에서 볼 수 있다. 400 MPa의 압력으로 압축하였을 때, 분말 A의 밀도는 7.190(±0.008) g/cm³이고 분말 B는 이보다 높은 7.319(±0.037) g/cm³을 나타내었다. 하지만 성형강도는 분말 A가 19.580(±0.255) MPa로 나타났고, 분말 B는 7.477(±0.235) MPa로 측정되었다. 분말 A가 분말 B에 비하여 밀도는 작은

데 성형강도는 두 배 이상 높은 결과가 나온 것은 분말 형상, 특히 분말 표면의 조도 차이에 의한 것이라 할 수 있다.

이러한 분말 표면의 조도의 차이를 정량화 하기 위하여 3차원 레이저 표면 분석기를 이용하였다. 이 장비를 이용하면 분말 표면의 모습을 그림 3(a)와 같이 3차원으로 표현이 가능하여 분말의 전체적인 높낮이를 한 눈에 알아 볼 수 있으며, 그림 3(b,c)처럼 특정 구간의 표면 조도를 정량화 할 수 있다. 이와 같은 방법으로 각 분말의 표면조도를 측정하여 평균한 결과, 분말 A의 평균 표면조도 R_a 값은 5.420(±2.25) µm이고, 분말 B이 평균 표면조도 R_a 값은 3.212(±1.70) µm로 측정되었다. 이 결과는 분말 A가 분말 B에 비하여 상대적으로 더 불규칙한 형상과 더욱

Fig. 3. Results of 3D-laser profiler: (a) 3-dimensional image of powders, (b) 2-dimensional image, and (c) line profile between two points.

거친 표면을 가지는 것으로 측정되어, 그림 2에 나타난 주사현미경에 의한 결과와 같은 경향이라 할 수 있다. 따라서 높은 압분강도를 나타내는 분말 A가 높은 표면 조도값을 나타냈고, 낮은 압분강도를 가지는 분말 B가 적은 표면 조도값을 나타냈다.

분말 모양이 불규칙 할수록 겉보기 밀도와 두드림 밀도 및 성형체의 밀도 또한 작아진다는 것은 일반적으로 널리 알려진 사실이다[4]. 이는 분말의 모양이 둥글수록 분말의 충전성이 더욱 커지고, 같은 압력을 가했을 때 더 높은 성형체 밀도값을 나타내게 된다. 소결 전 성형체는 분말들이 서로 화학적 결합이 아닌 기계적 결합으로 그 형상을 유지하기 때문에 분말의 형상에 따라 그 강도가 크게 결정된다. 분말의 모양이 불규칙 할수록 분말들이 서로 맞물리게 되는 현상이 잦아지게 되고 분말들 사이의 접촉 면적도 넓어지게 된다. 따라서 분말 표면의 조도값이 클수록 더욱 높은 성형강도를 가지게 된다고 할 수 있다.

분말의 크기와 분포 또한 분말 성형체 강도에 중요한 영향을 미친다. 분말의 크기가 크게 되면, 크기가 작은 분말에 비해 성형시 압력에 의한 변형이 더욱 많이 발생하여, 분말들 사이의 접촉면적이 많아지게 된다. 따라서, 크기가 큰 분말일수록 성형성이 우

수해지고, 성형강도도 좋아지게 된다. 이번 연구에 사용한 분말 A와 B의 크기는 그림 2의 주사현미경에서 보듯이, 분말 A가 B보다 작음을 알 수 있다. 따라서, 분말 크기가 큰 B가 성형강도가 좋아야 하지만, 결과는 크기가 작더라도 표면조도가 큰 분말 A가 더욱 좋은 성형강도를 보였다. 이는 분말 크기의 차이가 크지 않을 시에는 분말 표면 조도가 성형강도에 더욱 지대한 영향을 준다고 할 수 있다.

지금까지의 분말의 표면적 또는 표면특성을 관찰하는 일반적인 방법이 아닌, 3차원 레이저 표면 분석기는 짧은 측정 시간과 수 nm에 달하는 해상도를 가지고 있으므로 측정의 신속성, 편리함과 더불어 높은 정밀도를 보인다. 이 장비를 이용하여 분말의 표면 거칠기를 정량적으로 측정하여 수치화함으로써, 분말 표면 거칠기가 분말 성형 특성에 미치는 영향을 평가할 때, 효과적인 분말 및 압분체, 소결체의 특성 분석이 가능하게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 분말 표면 조도가 성형체 강도에 미치는 영향에 대하여 실험을 통한 정량적 분석이 이루어졌다. 분말 표면 조도는 3차원 레이저 분석기를

사용하여 정량화 하였고, 성형체의 강도는 3점 항절력 시험을 통하여 이루어졌다.

1) 표면 조도가 높은 분말은 분말 모양이 불규칙하므로 성형밀도는 상대적으로 낮은 값을 가지나, 성형체 강도는 높은 값을 가진다. 이는 불규칙한 표면들이 서로 맞물려 엉키게 되어 높은 기계적 결합력을 갖게 되기 때문이다.

2) 하지만 표면 조도가 낮은 분말은 표면이 매끈하고, 둥근 형태의 표면을 가지게 되므로, 높은 성형밀도를 가지는데 반해 분말들끼리 맞물리는 부분이 줄어들어 낮은 성형체 강도 값을 가진다.

3) 분말의 표면 조도를 3차원 레이저 분석기를 통하여 정량화 함으로써, 분말의 모양 및 표면 형상이 분말야금 공정에 미치는 영향에 대하여 명확한 이해와 효과적인 해석을 가능하게 한다.

감사의 글

본 연구는 포스코의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- [1] R. M. German: Powder Metallurgy of iron and Steel, John Wiley & Sons, Inc., New York (1998) 20.
- [2] A. Salak: Ferrous powder metallurgy, CISP, Cambridge, UK (1996) 354.
- [3] D. J. Lee, E. Y. Yoon, H. N. Kim, H. S. Kang, E. S. Lee and H. S. Kim: J. Korean Powder Metall. Inst., **18** (2011) 221 (*Korean*).
- [3] D. Poquillon, J. Lemaitre, V. Baco-Carles, Ph. Tailhades and J. Lacaze: Powder Tech., **126** (2002) 65.
- [4] D. Poquillon, J. Lemaitre, V. Baco-Carles, Ph. Tailhades and J. Lacaze: Powder Tech., **126** (2002) 75.
- [5] I. Nikolakis and N. Pilpel: Powder Tech., **56** (1988) 95.
- [6] J. S. Hirschhorn, G. M. Maxwell and A. V. Nadkarni: Powder Tech., **5** (1971) 72.
- [7] E. Y. Vyal' and A. M. Laptev: Powder Metall. Met. Ceram., **44** (2005) 615.
- [8] L. P. Lefebvre, Y. M. Henuset, Y. Deslandes and G. Pleizier: Powder Metall., **42** (1999) 325.
- [9] A. F. Zhornyak and V. E. Oliker: Powder Metall. Met. Ceram., **17** (1977) 558.
- [10] R. M. German: Powder Metallurgy of iron and Steel, John Wiley & Sons, Inc., New York (1998) 50.