

연성 금속 박판 스크랩의 재활용 기술

*홍성현, 김병기
한국기계연구원 재료연구부

Recycling technology of ductile metal foil scraps

*Hong Seong-Hyeon, Kim Byoung-Kee

Depart. of Materials Technology, Korea Institute of Machinery and
Materials

1. 서론

금속 박판 스크랩은 분말화가 용이한 원료이므로 재활용에 대한 관심이 증대되고 있다. 박판 제작과정중 각 단계별로 압연후 slittering시 발생하는 알루미늄 박판 스크랩의 발생량은 국내의 경우에 연간 약 8500 톤이며 재용해의 원료로 재활용되고 있다. 알루미늄 박판 스크랩은 순도가 높고 두께가 6.5 ~ 120 μm 정도로 얇으므로 기계적 분쇄에 의하여 보다 고부가가치의 알루미늄 flake 분말을 제조할 수 있는 가능성이 크다.

flake 분말은 우수한 접착력과 특유의 은빛 색상을 띠는 특성을 가지기 때문에 지문채취용, 경량 콘크리트 제조용 발포제, 차량용 페인트용 및 각종 산업용 페인트용, 잉크의 원료용, 플라스틱 가전제품의 코팅용 및 폭발제용 등으로 광범위하게 응용되고 있다. 본 연구에서는 연성금속인 알루미늄 박판 스크랩을 원료로 사용하여 ball milling으로 분쇄화 가능성 여부 및 분쇄화의 거동을 조사하였고 밀링조건에 따른 분쇄거동을 조사하였다.

2. 실험 방법

밀링 용기는 길이 80 mm, 내경 70 mm 스테인레스(SUS 304) 재 용기를 사용하였고, 볼 용기내의 볼과 알루미늄 박판의 장입량은 각각 900 g 과 15 g으로 하였다. 스테아릭산(Stearic Acid)을 분쇄물인 알루미늄 무게의 3%를 첨가하였고 스테아릭산의 영향을 고찰하는 실험에서는 1.5% ~ 5% 로 함량을 변화시켰다. 밀링은 실험실용의 수평식 회전 방식을 채택하여 밀링기 회전 속도는 120 rpm으로 일정히 하였고 최대 45시간까지 milling하였다. 알루미늄 박판의 milling 거동을 조사하기 위하여 milling 시간에 따른 박판과 분말의 형상 관찰 및 평균 입도를 측정하였고 광학 현미경에 의한 미세조직도 조사하였다. 밀링 분말을 채취하여 입도 분석기(COULTER LS130)와 비표면적 측정기(Micromeritics ASAP2000)를 이용하여 밀링 분말의 입도와 비표면적을 계측하였으며, 광학 현미경과 SEM을 이용하여 밀링 분말의 형태를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

알루미늄 박판들이 5 시간 동안 밀링되면 반복적인 ball의 낙하에 의한 충격으로 micro-forging이 되며 소성변형이 되어 길게 연신된 상태로 대부분 변화하였으며 이보다 더욱

충격을 받은 박판들은 연신 되면서 국부적 파괴가 일어나서 쪼개지게 되어 형성된 작고 길쭉한 박판 모양이 되었다. 10 시간 밀링후에는 박판들이 분쇄화가 되었고 길다란 flake 형상의 조대한 분말이 얻어졌다.

밀링시간이 10 시간에서 25 시간까지 증가함에 따라 평균 입도는 $97 \mu\text{m}$ 에서 $14 \mu\text{m}$ 까지 연속적으로 감소하며, 비표면적은 평균 입도의 감소 및 flake화에 의하여 milling시간에 따라 연속적으로 증가하는 경향을 보여 주고 있다. 특히, 15 시간이후 급격한 비표면적의 증가는 분쇄된 입자의 flake화에 기인한다.

비표면적 측정시 흡착용 질소 압력의 증가에 따른 분말표면에 흡착되는 질소기체의 양을 나타낸 것으로, milling 시간의 증가에 따라 분말의 비표면적의 증가로 흡착되는 기체양의 증가를 보여준다. 20 ~ 25 시간동안 밀링된 분말의 경우에 그래프에서 기울기의 값이 10 ~ 15 시간 밀링된 경우보다 큰 것은 분말 표면의 요철이 예리하여 질소 압력의 증가에 따라 질소의 흡착이 용이한 분말 표면을 갖고 있음을 의미한다. 밀링 시간에 따른 flake 두께 및 aspect ratio(평균 입도/flake 두께)의 변화를 조사한 결과, milling 초기 단계에는 원료 박판 ($6.5 \mu\text{m} \times 6 \text{mm} \times 8 \text{mm}$, aspect ratio = $6000/6.5 = 923$)이 ball에 의한 충격으로 다소 작은 박판으로 파괴, 분리되며 그 후 연신 변형에 의하여 큰 aspect ratio의 조대한 flake 분말이 생성되며(10 시간), 계속적인 분쇄에 따라 flake의 두께의 변화가 거의 없이 입도가 감소하여 aspect ratio가 감소하다가(15 시간), 분리된 flake분말이 계속적인 연신으로 aspect ratio가 증가하며(20 시간), flake분말이 작은 분말로 분쇄되면서 다시 aspect ratio가 감소하고 있다(25 시간).

밀링시간에 따라 연성금속인 알루미늄 박판이 분말로 분쇄되는 과정을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 다수의 foil이 laminating되거나 독립된 1개 foil이 ball의 낙하에 의한 반복적 micro-forging으로 연신된 laminating된 foil들 또는 1개의 연신된 foil들로 되는 단계
- 2) 연신된 foil들에 반복적 mico-forging으로 연신된 foil들 내에서 균열이 발생하여 전파되어서 작게 연신된 foil로 분리되고 계속적으로 작은 foil로 변화하는 단계
- 3) 매우 작게 분쇄된 laminating foil들이 반복적 mico-forging으로 국부적인 균열이 발생하여 laminating된 일부 foil집합체가 분리되는 단계
- 4) 길고 조대한 flake분말로 변화
- 5) 길고 조대한 flake분말이 보다 작은 크기로 분쇄되면서 아직은 연성이 있어서 길게 늘어나 높은 aspect ratio를 갖는 분말로 되는 단계
- 6) 반복적 mico-forging이 계속될 때 높은 aspect ratio를 갖는 flake분말이 가공정화가 되고 국부적인 파괴가 발생, 분쇄되어 낮은 aspect ratio를 갖는 미분말로 되는 단계

4. 결론

연성 금속인 알루미늄 박판은 볼밀링시 볼의 낙하에 의한 반복적 micro-forging에 의하여 연신되고 연신된 박판내에서 균열이 발생하여 전파되어서 작게 연신된 박판으로 분리되고 반복적 mico-forging으로 국부적인 균열이 발생하여 조대한 flake분말로 변화하며, 반복적 mico-forging이 계속될 때 높은 aspect ratio를 갖는 flake분말로 변화되었다. 이러한 flake 분말은 페인트용 안료의 원료로 응용될 수 있다.