

연성금속분말의 기계적합금화에 있어서 분말입자의 응집 및 불표면과 용기벽에의 코팅현상

Particle Coagulation and Its Coating on Ball Surfaces and Mill Container Wall during Mechanical Alloying of Ductile Metal Powder

한국기계연구원 이길근*
 東北大學工學部材料加工學科 Ryuzo Watanabe

I. 서론

기계적합금화(Mechanical Alloying)법을 이용하여 신기능성재료와 첨단재료 등을 효율적으로 제조하기 위해서는 밀링프로세스의 최적화 및 기계적합금화 메카니즘의 해명이 필요불가결한 요소이다. 본 연구에서는 금속간화합물의 합성을 목적으로 하는 연성금속분말의 기계적합금화에 있어서 분말입자의 형태변화, 분쇄, 응집, 코팅의 메카니즘을 명확히 하기 위해, Cu, Ti, Al 분말을 모델원료로 선택하여 회전밀링 과정에 있어서의 제현상을 검토하였다. 원료소재로서 합금계가 아닌 순수분말만을 이용한 것은 합금화 및 화합물합성의 영향을 배제하고, 순수히 역학적인 형성 메카니즘을 검토하기 위해서이다.

II. 실험 방법

Cu분말(순도:99.9%, 평균입경:48 μ m), Ti분말(순도:99%, 평균입경:57 μ m), Al분말(순도:99.9%, 평균입경64 μ m)을 회전밀링을 이용하여 Ar가스 중에서 밀링하였다. 밀링은 12.7mm와 4.76mm의 2종류의 스틸볼을 사용하여 최대 40시간까지 행하였다. 볼은 최대충진량의 10~70%, 분말은 볼충진층내의 공극의 10%에 해당하는 양을 충전하였다. 소정의 시간 밀링한 후 코팅된 것을 제외하고 밀링분말 전량을 채취하여, 분말의 단위중량당 입자의 수 및 코팅량을 측정하였다. 또한, 밀링한 분말과 불표면의 SEM관찰을 하여 입자의 형태, 크기 및 코팅층을 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

밀링과정에 있어서의 분말입자의 응집 및 불표면과 밀용기벽에의 코팅은 밀링볼의 무질서한 수 많은 충돌에 의해 일어나므로, 응집과 코팅을 하나의 확률과정으로 생각할 수 있다. 응집과 코팅에 의한 입자갯수의 변화를 무질서하게 운동하는 에어졸입자의 응집 및 용기벽에의 부착에 관하여 도출된 Gillespie-Langstroth응집속도식, $dn/dt = -Kn^2 - \beta n$ 를 적용하여 해석하였다. 여기서 $n[\text{kg}^{-1}]$ 은 시간 t 에서의 단위중량당 입자수, $t[\text{s}]$ 는 시간, $K[\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}]$ 는 입자상호간의 응집속도 정수, $\beta[\text{s}^{-1}]$ 는 불표면과 밀용기벽에의 입자의 부착속도정수 즉 코팅속도정수이다. 소정의 시간 밀링한 분말의 단위중량당 입자수를 측정하여 계수 K 와 β 를 비선형함수의 최소자승법(Marquardt법)을 이용하여 결정하였다. 입자의 분쇄의 영향이 큰 밀링 초기를 제외하면 입자갯수의 변화는 Gillespie-Langstroth응집속도식으로 표현할 수 있음을 알았다. Fig.1에 Al분말의 경우의 $-dn/dt$ 와 t 의 관계를 나타내었다. 그림에서 알수 있는 바와 같이 밀링에 의한 입자갯수의 감소는 밀링 초기~중기에는 입자상호간의 응집에 의한 입자갯수의 감소가 지배적이지만, 밀링시간의 증가와 함께 차츰 코팅에 의한 감소가 지배적으로 되는 것을 알수 있다. 또한, 연성이 풍부한 금속분말이 응집, 코팅 하기 쉬운 사실을 정량적으로 설명할 수 있었다.

코팅중량비는 볼충진율의 증가와 함께 증가하여 볼충진율 40%에서 최대치를 나타낸 후 감소하였으며, 이의같은 코팅중량비의 변화는 볼충진층의 밀용기 회전축에 대한 1차 모멘트, 즉 밀용기 회전 구동 에너지에 비례하는 양의 변화에 대응하였다.

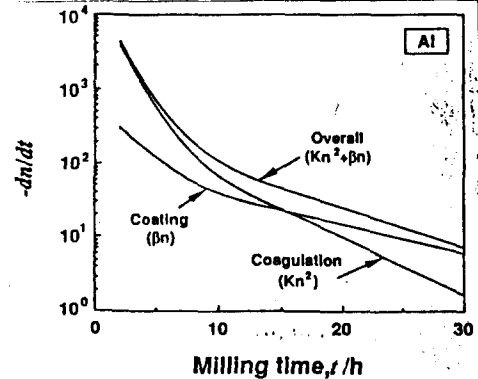


Fig.1 Dependence of decrease rate of particle number on milling time analyzed by Gillespie-Langstroth equation. (Al powder).