

마이크로파 에너지를 이용한 저수축 반응소결 알루미늄의 제조에 관한 연구

박정현 · 안주삼

연세대학교 세라믹공학과
(1994년 8월 12일 접수)

The Study on the Production of Reaction Bonded Aluminum Oxide by Using Microwave Energy

Jeong-Hyun Park and Zou-Sam Ahn

Department of Ceramic Engineering, Yonsei University
(Received August 12, 1994)

요 약

가정용 전자렌지 이용하여 Al-Al₂O₃ 분말성형체를 소결시켰다. 출발원료의 처리공정의 차이가 산화 소결거동에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 이러한 영향은 마이크로파로 산화 소결한 경우가 통상적인 로내에서 산화 소결한 경우보다 큰 것으로 나타났다. 시편의 산화 소결이 2시간 안에 이루어질 수 있어서 에너지와 공정시간을 크게 줄일 수 있었다.

ABSTRACT

By using homestyle microwave oven, Al-Al₂O₃ powder mixture could be oxidized and sintered into Al₂O₃ body. The differences in powder characteristics among the differently processed raw materials affect the oxidation and sintering behaviours, and these effects were more pronounced in case of microwave oven than of conventional furnace. Al-Al₂O₃ powder mixture was oxidized and sintered within 2 hrs, which could save both processing time and energy.

Key words: Microwave, Low-shrinkage alumina, Oxidation of Al

1. 서 론

최근에 세라믹의 각 공정(건조, 소결, plasma 소결 등)에 마이크로파를 이용하려는 연구가 많이 진행되고 있으며 그 중에는 금속과 세라믹 분말을 함께 혼합한 복합체에 대한 연구도 진행되고 있다.^{1,2}

전자기파가 이상적인 도체(예로 초전도체)에 직각으로 입사하면 입사된 파는 전부 반사되고 표면에서의 전기장(Electric Field, E)은 0이 되므로 통상 금속은 마이크로파를 반사한다고 알려져 있다. 그러나 실제에 있어서는 어떤 도체도 전기 저항도가 0이 될 수 없고 어느 정도의 전기 저항도를 갖는다. 약간의 전기저항 때문에 입사 마이크로파 에너지중 일부는 금속 표면층으로 침투하여 열로 변환된다. 따라서 만일 금속을 미세한 분말로 만들면 더 많은 금속분말 표면층이 마이크로파를 흡수

하여 많은 열을 발생시킬 수 있다. 그러므로 금속분말 마이크로파를 흡수하지 않는 세라믹 분말과 함께 혼합하면 금속-세라믹분말 성형체를 마이크로파로 가열시킬 수가 있게 된다.

세라믹스는 통상적으로 소결시에 15~20% 정도 수축하며 이로 인해 최종 소결체의 정확한 크기 예측 및 복합형상 제조가 어렵다. 이 수축율을 최소화시키기 위한 세라믹 공정중의 하나가 Reaction Bonded Aluminum Oxide(RBAO)이다.^{3,4} 이 저수축 RBAO 제조공정이란 Al-Al₂O₃ 혼합분말 성형체를 가열하여 Al의 산화 반응으로 인한 부피팽창이 Al₂O₃ 소결로 인한 수축을 상쇄하게 하여 성형체와 소결체 사이에 부피변화가 거의 없는 저수축 알루미늄 제조를 목적으로 하는 공정이다.

마이크로파 소결이란 마이크로파 에너지를 열원으로 사용하여 소결하는 것으로서, 초고속가열을 통하여 소

결시간이 단축되고 에너지 효율이 매우 좋으며, 내부 및 부피발열(internal and volumetric heating)을 함으로써 균일한 가열을 가능하게 하여 미세구조와 물성의 향상에도 도움이 되며, 특히 난소결성 세라믹 복합재료를 보다 용이하게 소결시킨다고 알려져 왔다²⁾.

본 연구에서는 마이크로파장 내에서의 가열 및 산화 기구와 질량효과를 논하였으며, 또한 출발시료의 처리 공정에 따른 산화거동의 변화 그리고 마이크로파로 소결한 시편의 미세구조를 관찰하였다.

2. 실험방법

본 실험에서 사용한 Al 분말(Junsei Chemical Co. Ltd., Japan)은 순도가 99.9% 이상이며 평균입경은 237 μm 이고 Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이 얇은 판상을 하고 있다. Al_2O_3 분말(A-12, IKEI Co., Japan)은 순도가 99.6% 이고 평균입경은 16 μm 이며 Fig. 1(b)에서 보는 바와 같이 평균입경이 1 μm 내외의 작은 알루미늄 입자들의 응집 입자로 이루어져 있다.

시편의 조성은 Al의 부피비를 각각 20, 35, 45, 50, 60, 65%로 하였다. 칭량한 시료는 (i) 진동밀링공정을 1시간 동안 하거나 (ii) 혼합공정만을 거쳐야 하는 시료는 magnetic bar를 이용해서 교반기에서 80°C의 온도로 약 3시간 동안 교반 혼합한 후, 1½시간 동안 유발혼합을 하였으며 (iii) 볼 밀링공정을 거쳐야 하는 시료는 알루미늄 구석을 사용하여 8시간, 또는 4일 동안 하였다.

혼합시에는 Al의 수화 및 산화를 방지하기 위해서 에탄올을 혼합매로 사용하였으며 건조된 분말은 각각 1, 2, 4 g 씩 칭량하여 15 ton의 압력으로 강철제 금형(직경=16 mm)을 사용하여 일축가압성형하였다.

시편을 산화, 소결시키기 위해 일반 가정용 전자오븐(Daewoo Co., KOR 111A)을 사용하였는데 마이크로파 발생 주파수는 2.45 GHz, 출력은 650 W이었으며, 전자렌지 안에는 회전판이 부착되어 있었다. 산화실험시에는 저온용 내화벽돌을 전자렌지 밑바닥에 놓고 그 위에 고온용 단열재(Karwool, Toshiba Monofrax Co., Ltd, Japan)를 올려 놓은 후, 이 속에 시편보다 약간 큰 구멍을 뚫고 시편을 넣었으며 그 위에 같은 재질의 단열재로 뚜껑을 덮었다(Fig. 2(a)). 소결실험시에는 Fig. 2(b)에서 보는 바와 같이 저온용 내화벽돌 위에 다시 고온용의 고급 단열재를 올려 놓고 그 위에 SiC 기판을 깔고, 이 위에 예열용의 지르코니아(Zircar Products Inc., ZYZ-3)로 반응실을 만들어, 그 가운데 시편받침으로 알루미늄 기판을 놓았다. 이 지르코니아와 SiC 기판을 고급 단열재로 다시 외부와 단열시켰다. 시편의 온도측정은 전면 내화물에 있는 지름 8 mm의 구멍을 통하여 광학온도측정계(TR-630A, Minolta Camera, Ltd, Japan)로 측정하였으며 이 구멍의 크기는 흑체 복사열 측정조건에 맞을 만큼 작았다. 시편은 산화와 소결 후에 마이크로파 오븐 내에서 자연냉각시켰다. 겉보기 밀도는 아르키메데스원리에 의해서 측정하였다.

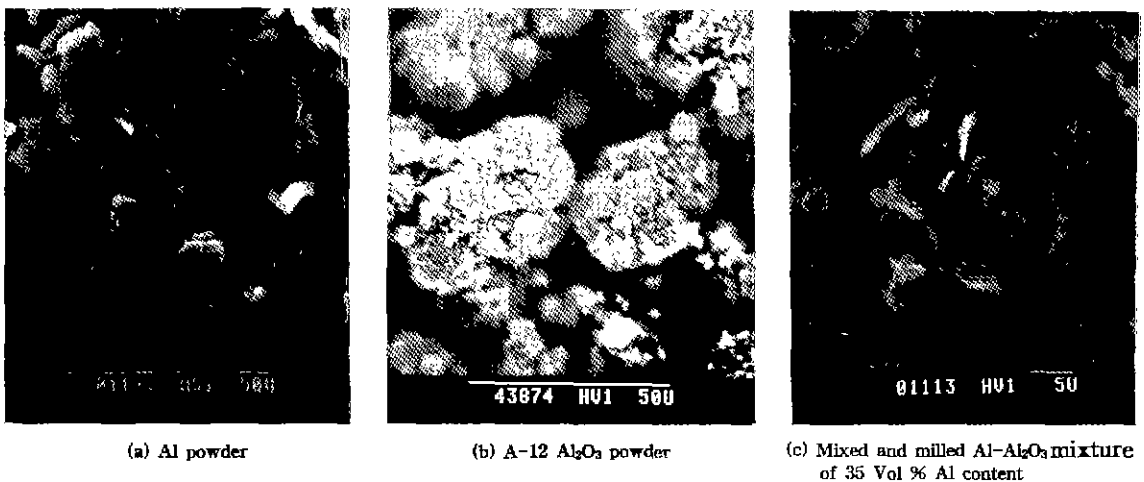


Fig. 1. SEM photographs of starting materials.

(a) Al powder, (b) A-12 Al_2O_3 powder, (c) Mixed and milled Al- Al_2O_3 mixture of 35 vol% Al content

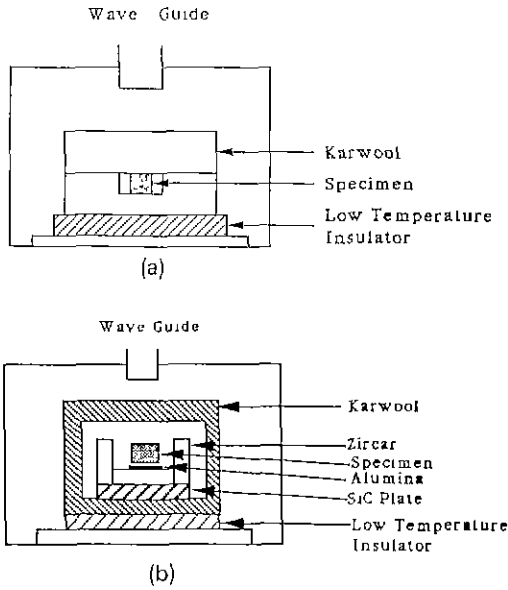


Fig. 2. Schematic diagram of insulation box, (a) for oxidation experiment and (b) for sintering experiment inside home style microwave oven.

3. 결과 및 고찰

3.1. 마이크로파 장안에서의 발열기구

마이크로파가 물질에 침투하여 전파되는 동안 이 마이크로파는 재료에 흡수된다. 이러한 현상을 나타내는 변수인 피부깊이(Skin depth) δ 는 물질에 침투한 마이크로파의 출력(power)이 $1/2e$ 으로 감소하는 깊이로 정의되며 다음 식으로 표현된다.

$$\delta = (\rho / (\pi \cdot \mu \cdot f))^{1/2} \quad (1)$$

여기서 f 는 주파수, μ 는 시편의 투자율($\mu = \mu_r \times \mu_0$), μ_r 는 비투자율, μ_0 는 진공의 투자율, ρ 는 dc 전기 저항이다. 어떤 금속이든 저항이 어느 정도는 있게 마련이므로 위의 식에 의해서, 이 저항값에 따라 마이크로파의 침투가능 거리가 존재한다. 이는 마이크로파가 침투한 거리만큼의 체적이 마이크로파 에너지가 열에너지로 변환되는 부분이 된다. 따라서 금속을 보다 작은 입자로 만들면 만들수록 단위 무게당 마이크로파를 흡수하는 체적이 커지게 되어 가열이 더 빨리 진행되는 것으로 보고되었다²⁾.

본 실험에서는 200°C까지는 Al의 고상산화가 매우 느리기 때문에 이 온도까지는 분말 Al의 표면에 흐르는 전류에 의해서 금속분말이 가열된다. 200°C 이상의 온도범위에서는 초기에는 Al의 고상산화가 미미하므로

Al의 산화열이 시편온도 상승에 끼치는 영향이 작으나, 온도가 높아감에 따라서, Al의 산화는 온도에 의존하게 되어, 많은 산화가 일어나게 되고 이때 Al 산화열의 시편 온도상승에 대한 기여는 더 커지게 된다. 이러한 기구에 의해 마이크로파의 흡수에 의한 Al 분말의 자체발열과 Al 분말의 산화열에 의해서 Al-Al₂O₃ 분말 성형체의 온도는 증가하게 되며, Al₂O₃의 마이크로파 흡수온도($\approx 1000^\circ\text{C}$) 이상의 온도가 되면 Al₂O₃도 자체적으로 발열하게 된다. 그러나 이때에는 시편의 승온속도가 빨라지게 되므로, 산화실험시에는 전자렌지의 출력을 조절하는 방법으로 시편의 온도를 조절하였다.

본 실험에서는 50 vol% Al 함유 시편에서 Al 절대산화량의 75% 이상이 40분만에 이루어졌다. 여기서 Microwave 장내에서의 산화가 일반적인 로내에서의 산화보다 효과적인 이유는 첫째로 발열체가 분말 Al이고, Al₂O₃의 마이크로파 흡수온도($\approx 1000^\circ\text{C}$) 이하에서는 Al₂O₃가 Al 입자표면에서 생기는 열을 뱉어 가는 열의 저장고 역할을 하기 때문에 같은 온도에서도 마이크로파 처리한 시편이 통상적으로 산화된 시편보다 더 산화가 잘 되었고, 둘째로 Al 입자의 가열속도가 빠르므로 Al 입자 표면의 산화막에서 열팽창계수차와 증기압에 의한 산화막 파괴와 용융 Al 용출에 이은 용출표면에서의 산화 현상이 급속히 일어나게 되므로 빠른 산화가 일어나기 때문으로 생각된다. 이와같이 금속-세라믹 분말 성형체에서는 금속분말만이 마이크로파 에너지를 흡수하여 발열하므로 금속분말의 산화가 통상적인 로내에서의 금속분말의 산화보다도 급속히, 또한 효과적으로 이루어짐을 알 수 있었다.

3.2. 질량에 의한 영향

본 실험에서 사용한 전자렌지(Daewoo Co., 650 W)를 15분 동안 작동시켰을 때, 1½시간 유발처리공정을 거친 시료로 만든 질량이 2g인 시편을 여러조성과 압력으로 성형한 시편중 Fig. 3에서 표시한 특정한 조성과 압력으로 성형한 시편들만이 700°C 이상으로 발열하였고 그 이외의 시편들은 잠시 동안(1분 이내로) 발열하거나, 전혀 발열하지 않았다. 그러나 시편의 질량이 커지면(4g인 경우) 시편 질량이 작을 때보다 열의 집적효과가 커지므로 35 vol% Al 함유시편도 질량이 커지면 발열이 효과적으로 되었다. 이런 현상은 시편의 모양이 같은 경우 시편질량이 클 때(시편표면적/단위질량이 작다)는 밖으로 방출되는 열이 시편의 질량이 작을 경우(시편표면적/질량이 크다)보다 적으므로 시편 내의 온도상승이 빠르기 때문인 것으로 사료된다.

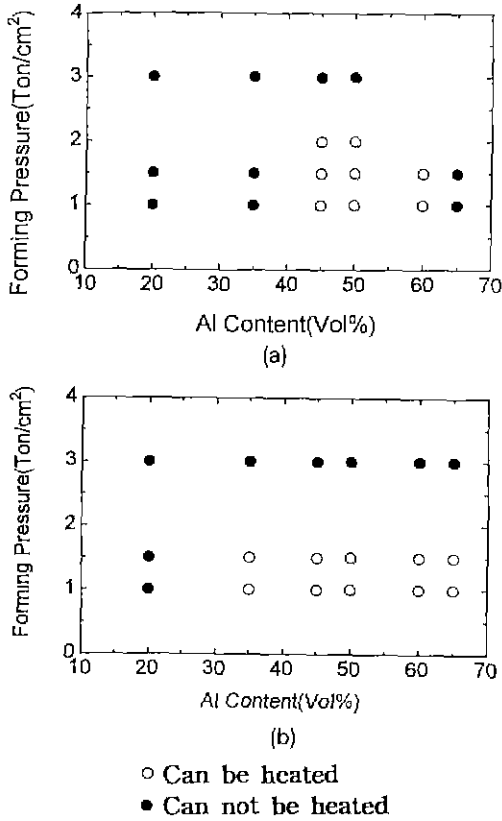


Fig. 3. The regions of specimens with different Al contents and forming pressures which can be heated up over 700°C when sample mass was (a) 2 gram and (b) 4 gram.

산화물제에 있어서도 시편의 질량이 커짐에 따라 가열효과가 증가하는데 이 때의 마이크로파를 흡수하는 기구에서는 dipole relaxation이나, 전자와 이온의 전기전도도가 기여하는데 비하여, 본 실험과 같은 금속-세라믹분말 성형체에서는 질량이 큰 시편에서 온도가 더 잘 증가하기 때문에 금속 분말의 전기저항도가 더 빨리 증가하게 되고, 이에 따라 식 (1)에 의해서 마이크로파의 피부깊이가 깊어져서 마이크로파를 흡수할 수 있는 체적이 증가하게 되어 가열이 빨리 되기 때문으로 사료된다. Al의 온도증가에 따른 저항도 증가가 시편의 고온으로의 발열에 관계됨을 다음 실험에서 보여주고 있다. 발열이 매우 잘 되는 질량이 1g인 50 vol% Al 함유 시편을 발열이 안되는 질량이 2g인 20 vol% Al 함유 시편 밑에 깔고 마이크로파 장내에서 실험을 하면 전혀 발열이 안되던 20 vol% Al 함유시편이 천천히 고온으로 발열하였다. 이것은 50 vol% Al 함유시편과 접촉된 20 vol% Al 함유시편의 하단부의 온도는 600°C 미만이므로 원래의 Al₂O₃는 마이크로파를 흡수하지 않게 되고 또 이 온도 미만에서는 Al의 산화열이 크지 않으므로 대부분의 열은 Al의 온도를 높여서 전기저항도를 증가시키게 되고 이에 따라서 더 많은 Al 체적이 마이크로파를 흡수하게 되어 시편의 온도를 증가시키기 때문이라고 생각된다. 참고로 이론적으로는 본 실험의 평균 Al 입자크기에서 10배의 전기전도도의 증가는 마이크로파 흡수체적이 80%나 증가하게 됨을 식 (1)에 의해 알 수 있다. Al 함유량이 50 vol% 이상인 시편의 성형압이 2.5 ton 이상일 경우 시편이 발열하지 않았는데 이것은 Al 분말

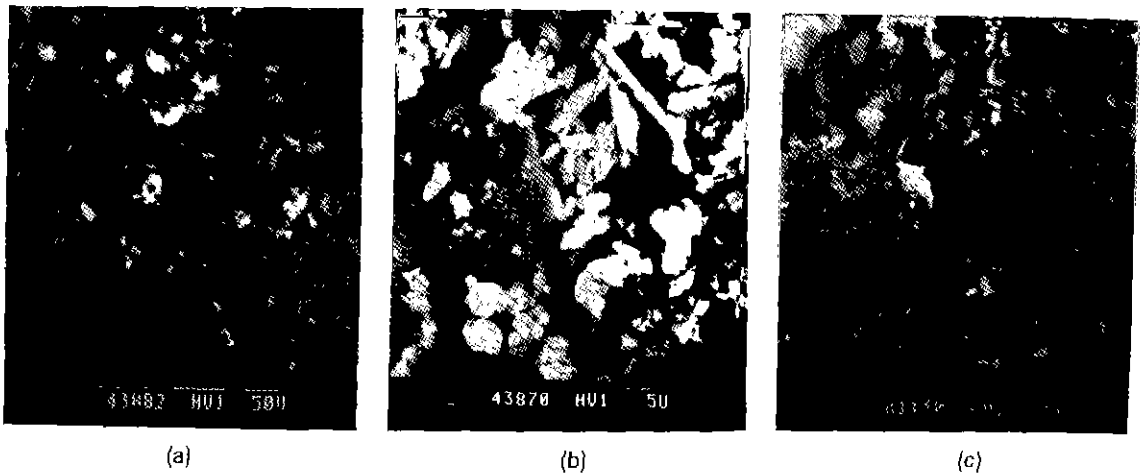


Fig. 4. SEM photographs of (a) vibratory milled powder, (b) mixed powder with mortar and pestle and (c) ball milled powder.

입자가 판상을 하고 있어서 큰 압력으로 성형하였을 경우 Al 분말이 서로 접촉되어 시편자체가 큰 Al 덩어리로 될 가능성이 많아져서 마이크로파를 효과적으로 흡수하지 못하기 때문으로 생각된다.

3.3. 출발시료의 입도분포, 평균입경, 모양이 미치는 영향

마이크로파 장내에서 RBAO의 산화소결거동은 Al 분말 자체가 발열체이고 출발시료의 입도분포, 평균입경, 모양 등에 따라서 표면 Ohmic 전류에 영향을 받는 시편의 체적이 달라지고 이에 따라 가열 속도가 달라지므로 통상적인 로내에서의 산화 소결보다도 분말 Al의 특성에 매우 큰 영향을 받는다. 다음의 예에서 출발시료의 입도분포, 평균 입경, 모양 등이 RBAO의 산화와 소결에 얼마나 중요한 역할을 하는 가를 볼 수 있다.

1. 진동밀링공정을 1시간 거친 시료는 Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 전체 입경이 크고 입도분포도가 상당히 좁다. 이 시료 2g을 1.5 ton으로 일축가압성형하고 마이크로파 장내에서 산화를 시켰을 경우에는 산화가 매우 급속히 일어나서 시편의 형태를 알아 볼 수 없을 정도였다. 이에 반해서 볼 밀링공정 하거나 magnetic bar를 이용하여 혼합공정한 시편은 성형체의 형태를 유지하며 산화되었다. 또한 이 시편을 통상적인 로내에서 승온속도 4°C/min로 유지하여 1400°C에서 30분 산화시킨 것은 볼 밀링공정이나 magnetic bar를 이용하여 혼합공정한 시편보다도 표면이 매우 거칠었으며 밀도도 매우 낮아서 쉽게 부서졌다.

2. Fig. 5는 각기 다른 공정으로 처리한 같은 Al 양을 가진 분말의 DTA 결과이다. 승온속도가 마이크로파 장내에서의 승온속도(50°C/min 이상)보다도 낮은 10°C/min 이지만 각기 다른 공정으로 처리한 같은 조성의 분말은 발열 피크가 각기 다르게 위치함을 볼 수 있다. 진동밀링공정한 분말에서 500°C 이하의 피크는 진동밀링공정시 벽에서 마모된 유기물에서 나온 피크이다(Fig. 5(a)). Al 용융점 위의 발열 피크의 위치는 진동밀링공정한 경우가 가장 높았고(954°C) 다음으로 유발혼합한 경우(916°C, Fig. 5(b))였고 볼 밀링공정한 경우(852°C, Fig. 5(c))가 가장 낮았다. DTA 실험이 분말상태에서 이루어졌음을 감안할 때, 가압성형체에서의 산화에서는 이런 출발원료의 처리공정상의 차이(즉 Al과 Al₂O₃의 분말특성)가 산화와 소결거동에 더 큰 영향을 미칠 것으로 여겨진다. TGA 결과는 볼 밀링공정한 분말이 새 가지 분말 가운데 가장 먼저 산화가 시작되었으며 제일 낮은 온도에서 산화가 끝났음을 보여주고 있다. 진동밀

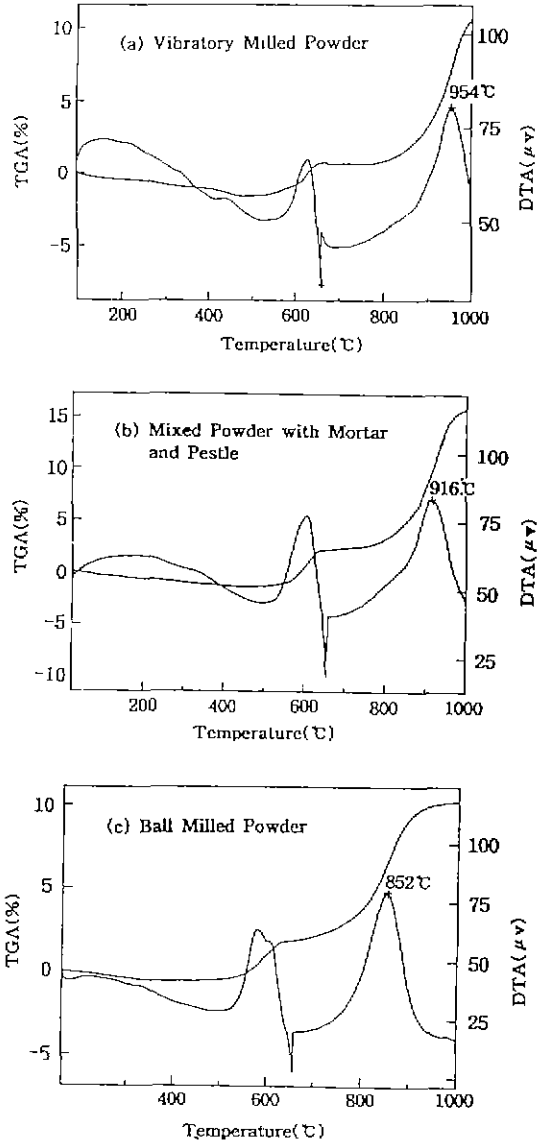


Fig. 5. DTA and TGA curves for differently processed starting powders.

링공정한 분말은 가장 높은 온도에서 산화가 끝났다.

3. Junsei Al 분말과 A-12 Al₂O₃ 분말을 알콜과 함께 비커에 넣고 magnetic bar로 혼합시킨 후 유발과 유봉으로 약 1½시간 유발혼합 한 뒤 만든 시료는 8시간 볼밀링하여 만든 시료보다 Fig. 4(b)에서 보듯이 훨씬 더 조립이며 좁은 입도분포도를 가지고 있다. 유발혼합로 만든 분말로 제조한 성형체만이 시편 높이가 14 mm인 데도(4 g) 옆면에 아무런 균열이 없이 산화 소결되었다.

그러나 불 밀링공정했던 시료로 만든 성형체는 산화시에 높이 3mm(1g) 경우도 옆면에 균열이 많이 생겼다. 또한 통상적인 로내에서 산화시킨 8시간 불밀링한 시편은 마이크로파로 산화시킨 시편보다도 훨씬 적은 수이지만 시편 옆면에 균열이 발생하였다.

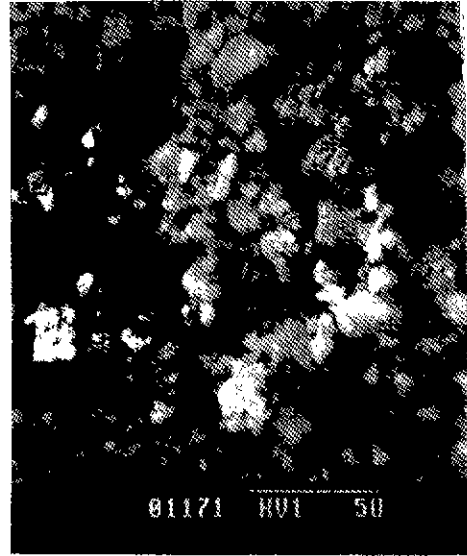
위의 3가지 예에서 볼 수 있듯이 RBAO를 마이크로파 장내에서 제조하는 데 분말처리 공정은 매우 결정적인 역할을 함을 알 수 있었다. 입도분포도와 입도크기는 Al 분말이 발열체 역할을 하기 때문에 통상적인 로내에서의 산화보다도 마이크로파 장내에서 더 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

진동밀링공정한 시편이 매우 격렬한 산화를 일으키는 것은 다음과 같은 이유라고 생각한다. Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 진동밀링공정한 분말은 평균입경이 매우 크고 입도분포도가 매우 좁다. 다른 공정을 거친 분말들은 입도분포도가 더 넓으며 평균입경도 훨씬 작다. 이론적으로 작은 입경의 Al 분말이 마이크로파를 더 쉽게 빨리 흡수하여서 알루미늄으로 산화된다. 이 산화된 알루미늄은 매우 작고 소결성이 좋아서 다른 알루미늄과 결합을 쉽게 할 수 있다. 그러나 진동밀링공정한 분말에서의 문제점은 이런 결합력을 주는 작은 크기의 Al 분말이 없고 비슷한 크기의 큰 Al 분말이 매우 많은 데 있다. 즉 시편의 온도가 상승됨에 따라 비슷한 크기의 분말은 거의 비슷한 시간에 표면의 산화된 Al_2O_3 피막이 깨지면서 급격한 산화를 하게되고 이 급격한 산화에 의한 산화열에 의해서 시편전체의 온도가 올라가서 다음의 큰 사이즈의 입경을 연쇄적으로 또 가속적으로 빨리 산화시키게 되어 폭발적인 산화를 하게 된다고 여겨진다.

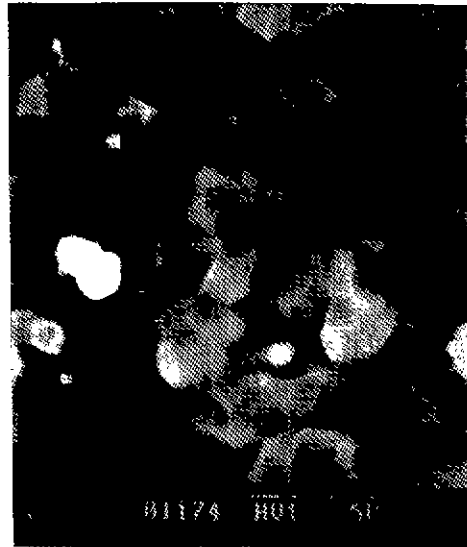
왜 한시간 반 동안 유발혼합한 분말만으로 저수축 반응소결 알루미늄을 제조할 수 있는 가는 밝혀내지 못했다. 그러나 불밀링한 시편에서 시편 옆면에 균열이 발생하는 문제를 생각해 볼 때, 그 정확한 원인을 알 수 없었으나 입도분포도가 불 밀링공정한 시편보다 작으므로 매우 크거나 혹은 매우 작은 입경의 Al이 없었기 때문이라고 생각된다.

진동밀링공정한 분말이 DTA 결과에서 가장 높은 발열 피크를 보인 이유는 이 분말이 가장 큰 입경을 가져서 산화시키는데 더 높은 온도가 필요했기 때문이다. 따라서 가장 작은 입경을 가진 불 밀링공정한 분말이 가장 낮은 온도에서 산화를 끝마쳤다.

평균입경이 40 μm 인 구형의 Al 분말도 이 실험에 사용하였으나, 이 분말을 사용한 시편은 처음에는 약한 빨간 빛을 내면서 온도가 올라갔으나 5분 뒤에는 전혀 발열하지 않았다. 이는 같은 크기의 판상 Al에 비해서



(a)



(b)

Fig. 6. SEM photographs of fractured surface of (a) oxidized specimen and (b) sintered specimen.

구형의 Al 분말이 입자 단위표면적당 더 많은 양의 Al을 함유하고 있어서 온도가 올라감에 따라 겉 표면의 Al_2O_3 막이 깨지면서 내부의 Al이 다량 용출되어 다른 Al 분말에서 나온 용출 Al과 함께 큰 Al 덩어리로 만들기 때문이다. 이는 실험 후 시편을 절개하였을 때 시편 안에서 큰 Al 편이 다수 존재하는 것으로 확인할 수 있었다.

그러므로 구형의 Al 분말을 사용하여 RBAO를 마이크로파로 제조하는 것은 바람직하지 못한 것으로 판단된다.

3.4. 미세구조 관찰

소결실험시에는 마이크로파 혼합가열방식(Microwave Hybrid Heating)을 사용하였다. 이 방식은 유전손실이 큰 SiC가 마이크로파를 흡수하여 상온에서부터 시편과 지르코니아를 가열하며, 유전손실이 다음으로 큰 지르코니아가 700°C 부근에서 발열을 시작해서 내화갑 중앙에 있는 시편을 가열하게 되고, 그래서 시편의 온도가 1000°C 이상이 되면 자체적으로 마이크로파를 흡수하게 되어 승온속도 50~100°C/min으로 소결온도에 도달하게 하는 방식이다. 이 전체공정 시간은 70분 이내이었으며 이 실험에 쓴 에너지는 통상적인 로내에서 산화 소결에 쓰인 에너지보다 훨씬 적었다(5~10%).

Fig. 6(a)는 전자렌지 안에서 40분간 산화시킨(산화 최고온도가 1200°C) 시편의 파단면이다. A-12 알루미늄의 입자가 초기소결되어 있었으며 분말 Al으로부터 산화되어 생긴 Al₂O₃는 매우 미립이며 반응성이 좋아서 산화된 Al₂O₃ 입자간에 치밀화가 진행되어 있는 모습을 보여주고 있다. Fig. 7(b)는 1640°C에서 20분간 소결한 35 vol% Al 함유시편의 파단면인데 이전에 보고되었던 column 구조가⁶⁾ 보이지 않았다. 이는 유발혼합을 함으로써 A-12 알루미늄이 큰 Al 입자를 분쇄함으로써 큰 입자로 생기는 column 구조가 형성되지 않았고, A-12 알루미늄은 반응성이 낮아서 입성장이 많이 일어나지 않았으며, 산화된 작은 Al₂O₃ 입자들은 반응성이 매우 높아서 작은 입자들끼리 많은 입성장이 이루어져서 SEM 사진에서 보는 바와 같이 본래의 A-12 알루미늄 분말과 비교될 만큼 입자크기가 커졌음을 볼 수 있었다. 또한 산화된 Al₂O₃ 입자와 A-12 알루미늄 입자들간에 또는 각각의 입자들간에 치밀화가 어느 정도 이루어져 있음을 보여준다. 그러나 Al₂O₃ 분말 자체가 작은 입자로 이루어진 응집 입자이고 Al과 Al₂O₃의 부분적인 불균질한 혼합상태 때문에 생기는 특이한 입도분포도와 미세구조로 인한 많은 큰 기공이 존재하였으며 이것들은 소결 후에도 없어지지 않았다. 소결체의 겉보기 밀도는 72%이었으며 두께변화율은 9%이었다.

4. 결 론

1. 마이크로파 에너지로 반응소결 알루미늄을 제조하

는데 있어 가장 중요한 공정은 출발원료 처리공정이다. 출발원료의 처리공정상의 차이(즉 Al, Al₂O₃ 분말의 혼합비율, 입도분포, 평균입경, 모양 등)가 산화 소결거동에 큰 영향을 미쳤으며 이런 영향은 마이크로파로 산화 소결한 경우가 통상적인 로내에서의 산화 소결한 경우보다 더 컸다.

2. 시편질량이 커짐에 따라 가열효과가 커지는데 이는 질량이 큰 시편이 열의 집적효과가 크므로, 금속 Al 분말의 저항도가 시편온도의 증가에 따라 커지게 되어 마이크로파를 흡수하는 체적이 커지기 때문이다.

3. Al-Al₂O₃ 분말 성형체를 출력 650 W의 가정용 전자오븐을 사용해서 2시간 미만의 공정시간으로 산화소결할 수 있어서 에너지와 공정시간을 크게 줄일 수 있었으며 소결된 시편의 겉보기 밀도는 72%이고 두께변화율은 9%이었다.

감사의 글

본 연구는 1993년도 한국 과학재단 핵심 연구 과제 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Claude Lorenson, M.D. Ball, R. Herzig and Hamish Shaw, "The Microwave Heating Behaviour of Metallic-Insulator Composite Systems," *Microwave Processing of Materials II*, W.B. Snyder, W.H. Sutton, M.F. Iskander and D.L. Johnson, Eds., 279-282, MRS., (1991).
2. E. Beshner and J.D. Mackenzie, "Microwave Heating of Ceramets," *Ceramic Transactions*, Vol 21, 557-563 (1991).
3. N. Claussen, T. Le and S. Wu, "Low-Shrinkage Reaction-Bonded Alumina" *J. Euro Ceram. Soc.*, 5, 29-35 (1989).
4. N. Claussen, N. Travizky and S. Wu, "Tailoring of Reaction-Bonded Al₂O₃ Ceramics," *Ceram. Eng. Sci. Proc.*, 806-820 (1990).
5. Willard H. Sutton, "Microwave Processing of Ceramic Materials," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 68, 376-386 (1989).
6. Jeong-Hyun Park, H.K. Lee, K.W. Chung and K.S. Youm, "Fabrication of Low-Shrinkage Reaction-Bonded Alumina Ceramics." *J. Kor. Ceram. Soc.*, 29, 419-430 (1992).