

알루미나사기재료의 력학적특성에 미치는 산화크롬첨가효과

김주혁, 리철남, 방철성

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《새 재료부문의 과학자, 기술자들은 전자공업에 절실히 필요한 화합물반도체와 정밀 사기재료를 개발하고 그 생산을 공업화하기 위한 연구사업을 다그치며 초전도재료와 금속수지복합재료를 비롯한 새 재료들과 우리 나라에 없는것을 대신할수 있는 재료를 개발하기 위한 연구사업도 전망성있게 밀고나가야 합니다.》(《김정일선집》증보판 제15권 487페이지)

알루미나사기재료의 열적, 화학적, 력학적성질은 Al_2O_3 함량이 증가할수록 높아진다. 그러나 Al_2O_3 함량이 증가할수록 소결온도가 높아지므로 제작이 어려워진다. 이로부터 Al_2O_3 함량을 낮추고 대신 소결강화제를 첨가하여 소결온도를 낮추면서도 알루미나사기재료의 력학적특성을 보장하기 연구들이 많이 진행되고있다.

선행연구[1]에서는 알루미나에 ZrO_2 , SiC , B_4C 등과 같은 소결첨가제들을 첨가하여 알루미나사기재료의 력학적특성을 개선하였지만 소결첨가제들의 값이 비싸고 열압소결과 같은 복잡한 제조기술이 요구된다. 또한 산화크롬(Cr_2O_3)을 알루미나에 첨가하여 고용체를 형성시키는 방법으로 알루미나사기의 력학적특성을 개선하고있다.[2, 3] 그러나 소결조건과 조성에 따르는 Al_2O_3 - Cr_2O_3 사기재료의 력학적특성에 대하여서는 구체적으로 밝히지 않았다.

우리는 산화크롬을 첨가한 알루미나사기를 제조하고 알루미나사기의 력학적특성에 미치는 산화크롬의 첨가효과를 고찰하였다.

실 험 방 법

원료로는 α - Al_2O_3 (순도 98.5%, 립도 $10\mu m$)과 Cr_2O_3 (순도 99%), 결합제로는 PVA를 리용하였다. 소결온도를 낮추고 립자성장을 억제하기 위하여 8질량%의 $CaO+SiO_2+MgO$ 를 첨가하였다. 산화크롬의 첨가효과를 보기 위하여 Cr_2O_3 을 첨가하지 않은 시편과 0.5질량%의 Cr_2O_3 을 첨가한 시편을 제조하였다.

행성식물분쇄기(《DECO-PBM》)로 분말혼합물을 6h동안 습식불분쇄하였다. 다음 2h동안 건조시키고 결합제를 넣어 120MPa로 성형하였다. 성형품의 크기는 $7.2mm \times 7.5mm \times 60mm$ 이다. 성형품들은 진공소결로(《HZSL-20》)에서 각이한 소결온도(온도상승속도 $5^\circ C/min$, 마감온도에서 2h 유지)로 소결되었다.

소결된 시편들의 치밀화정도는 상대밀도로, 력학적특성은 구부림세기로 평가하였다. 밀도는 일반적으로 리용하는 아르키메데스법으로 측정하고 구부림세기는 수직구부림시험기(《MM-1/As-102/》)로 측정하였다.

결과 및 분석

소결된 시편들의 크기는 대략 $5.8mm \times 6.1mm \times 49mm$ 정도이며 크롬을 첨가하지 않은 시편의 색은 백색, 첨가한 시편은 분홍색을 띠었다. 일반적으로 알루미나사기는 보통 $1550^\circ C$

이상의 소결온도를 가지며 구부림세기는 200MPa이상이다.

소결온도에 따르는 상대밀도와 구부림세기를 그림 1, 2에 보여주었다. 그림에서 시편 1은 크롬을 첨가하지 않은 소결시편이고 시편 2는 크롬을 첨가한 소결시편이다.

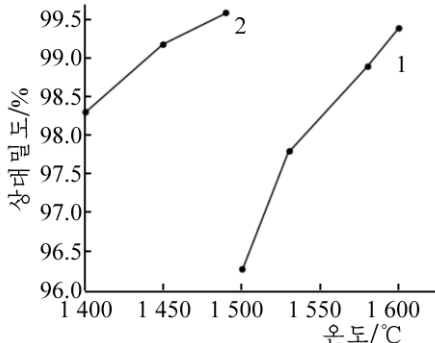


그림 1. 소결온도에 따르는 상대밀도
1-시편 1, 2-시편 2

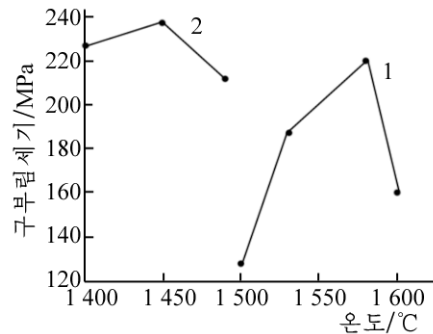


그림 2. 소결온도에 따르는 구부림세기
1, 2는 그림 1에서와 같음.

그림 1에서 보는바와 같이 소결온도가 증가함에 따라 시편 1과 2의 상대밀도는 다같이 증가한다. 그것은 일반적으로 소결온도의 증가에 따라 치밀화가 진행되기때문이다. 그러나 그림 2에서 보는바와 같이 시편들에서 구부림세기가 최대가 되는 온도가 존재하며 그 이상의 온도에서는 오히려 작아진다. 이것은 소결온도가 지나치게 높아지면 립자성장이 일어나 오히려 사기재료의 역학적특성에 나쁜 영향을 준다는것을 보여준다. 시편 1은 1580°C에서 최대구부림세기 220MPa를 가지며 시편 2는 시편 1에 비하여 더 낮은 온도인 1450°C에서 최대구부림세기 237MPa를 가진다. 이것은 시편 2가 시편 1에 비하여 상대적으로 낮은 소결온도를 가지지만 더 좋은 역학적특성을 가진다는것을 보여준다.

파괴자름면에 대한 SEM(《JSM-6610A》)사진을 그림 3에 보여주었다.

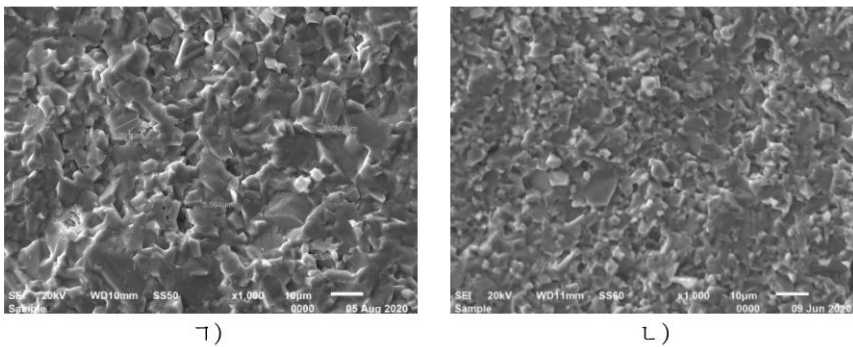


그림 3. 파괴자름면에 대한 SEM사진

ㄱ) 시편 1, 소결온도 1580°C, ㄴ) 시편 2, 소결온도 1450°C

그림 3에서 보는바와 같이 시편 1의 파괴자름면에는 기공이 상대적으로 많고 립자가 크지만 시편 2의 파괴자름면은 시편 1에 비해 기공이 상대적으로 작고 립자가 미세하다.

산화크롬은 알루미나와 같은 결정구조(육방구조)를 가지기때문에 치환고용체를 쉽게 형성한다. 그러나 Cr^{3+} 의 이온반경(0.076nm)은 Al^{3+} 의 이온반경(0.068nm)보다 약간 크다. 따라서 Cr^{3+} 이 Al^{3+} 과 치환되어 고용체를 형성할 때 살창변형을 일으키고 립계의 변형에너르기가 증가하므로 립계가 쉽게 이동하고 소결활성을 높여준다. 결과 상대적으로 낮

은 온도에서 치밀화과정이 진행된다.

일반적으로 구부림세기는 결정립자가 미세할수록 크다. 산화크롬을 첨가한 시편 2에서는 99%이상의 상대밀도에 도달하는 온도가 1 450°C로서 시편 1에 비하여 100°C이상 낮아진다. 결과 Al_2O_3 의 립자성장이 억제되어 결정립자가 미세해진다. 시편 2의 최대구부림세기가 237MPa로서 시편 1의 최대구부림세기 220MPa보다 큰것은 우와 같은 립자미세화효과때문이라고 볼수 있다.

맺 는 말

제조된 산화크롬을 첨가한 알루미늄사기재료는 산화크롬을 첨가하지 않은 알루미늄사기재료보다 100°C이상 더 낮은 소결온도에서 약 50MPa이상의 더 높은 구부림세기를 가진다. 실험결과는 산화크롬을 첨가하면 알루미늄사기재료의 력학적특성이 개선된다는 것을 보여주었다.

참 고 문 헌

- [1] E. W. Neuman et al.; Ceram. Int., 43, 7958, 2017.
- [2] P. Zhao et al.; Ceram. Int., 44, 1356, 2018.
- [3] T. Hirata et al.; J. Eur. Ceram. Soc., 20, 195, 2000.

주체109(2020)년 12월 5일 원고접수

The Effect of Chromia Addition on the Mechanical Properties of Al_2O_3 Ceramic Material

Kim Ju Hyok, Ri Chol Nam and Pang Chol Song

We showed that Cr^{3+} doped Al_2O_3 ceramic material had lower sintering temperature and higher flexural strength than Cr^{3+} undoped Al_2O_3 ceramic material through experiment.

Keywords: alumina, chromia, flexural strength