

G3A : 엔지니어링 세라믹스

G3A-1 | A data-driven strategy for estimating compositions and properties of polymer-derived silicon oxycarbides

*CHO Yi Je¹

¹Sunchon National University

Polymer-derived silicon oxycarbides (SiOC) facilitate the formation of uniform microstructures and properties that remain stable at elevated temperatures. Nonetheless, the precise connections between the processing parameters and the resulting microstructures/properties have not been definitively comprehended. This investigation utilized a materials informatics strategy to scrutinize and predict these associations within SiOC materials. A dataset was compiled using findings from previously documented literature pertaining to SiOC. Through correlation analysis, a ranking of processing parameters was established based on their respective impacts on properties and microstructures. This comprehension could subsequently be applied in tailoring materials to specific requirements. Highly accurate machine learning models were introduced, utilizing the prioritized features derived from the correlation analysis. Furthermore, the paper deliberated on key aspects of data compilation, correlation analysis, machine learning, and acknowledged limitations in the existing dataset. The proposed strategy for SiOC materials holds the potential for extension to diverse polymer-derived ceramics, encompassing a range of features and targets that pertain to processing variables, microstructures, and properties.

G3A-2 | 회전자기장에 의해 배향되고 집속된 자기 판상 입자를 갖는 고인성 다기능 복합재료 연구

*이상익¹, 정연화¹, 조강래^{2,3}, 문경석⁴

¹인하대학교, ²한국에너지공과대학교, ³울산대학교,

⁴경상국립대학교

본 연구에서 Molten-salt 법을 이용한 Z-type ($Ba_3Co_2Fe_{24}O_{41}$) 헥사페라이트의 합성 및 조성 제어 (Ba site), 이를 이용한 복합재료 제조 및 물성 제어, 그리고 안테나 기판 응용을 다룬다. Ba site의 일부를 Sr 로 대체함으로써 공진주파수와 투자율을 제어할 수 있음을 확인하였다. 판상입자의 형상과 자기이방성을 이용하고 회전 자기장을 적용함으로써, 합성된 헥사페라이트 판상 입자의 면방향 배향성을 향상시킬 수 있었다. 입자의 평면상 배향과 입자간 인력에 의해 판상입자가 집속된 복합재료층과 입자가 존재하지 않는 폴리머층이 교대로 적층된 구조의 layer-by-layer 특성이 나타남을 확인하였다. 더불어 표면 개시 중합(surface initiated polymerization)을 통해 자성 입자와 폴리우레탄 간의 화학적 결합을 유도함으로써, 12 Vol% 자성 입자에 대해 인장 강성, 강도는 물론 인성 (toughness)도 기존

폴리우레탄에 비해 각각 440%, 184%, 그리고 154%가 향상됨을 관찰하였다. 판상 자성 입자의 수평 배향은 면과 수직 방향 (복합재료 두께방향) 유전율(permittivity)을 감소시키고, 면방향으로 투자율(permeability)을 증가시킬 수 있음을 확인하였다. 이를 안테나에 적용함으로써, 공기와의 임피던스 매칭에 도움을 주면서 안테나 크기 감소와 성능 향상을 유도할 수 있었다.

Acknowledgement: 이 성과는 2022년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (No. 2019R1F1A1060897)

G3A-3 | 다양한 밀도와 크기의 탄소원 혼합물을 사용한 고밀도 반응소결 탄화규소의 제조

박준형¹, *박상환¹, 남산², 김성원³, 김동준¹

¹한국과학기술연구원, ²고려대학교, ³한국세라믹기술원

용융 Si 침윤 방법에 의한 반응소결 탄화규소 제조기술은 1500 °C 정도의 낮은 온도에서 near-net shaping 형상으로 제조할 수 있을 뿐만 아니라 열 기계적 특성 또한 우수하기 때문에 산업체에 폭넓게 적용되어 있는 탄화규소 소재이다. 반응소결 탄화규소는 성형체 제조 시 비정질 탄소원인 carbon black 및 phenol resin을 혼합하여 성형체의 기공으로 침윤되는 용융 금속과 반응시켜 새로운 탄화규소를 형성하며 소결을 진행한다. 일반적으로 반응소결 탄화규소의 밀도는 3.1 g/cm³ 이하로 반응소결 탄화규소 내에는 10~25 %의 잔류 Si이 존재하기 때문에 Si 용점이하의 온도로 고온에서 사용이 제한되고 있다. 최근에는 반응소결 탄화규소의 열기계적 특성에 직접적인 영향을 주는 잔류 Si 양을 감소시키기 위하여 다양한 기술 개발이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 carbon black, diamond, 및 phenol resin을 포함하는 다양한 밀도 및 크기를 가진 탄소원을 사용하였으며, 각 탄소원 배합비가 성형체 특성 및 반응소결 탄화규소의 미세구조 변화에 미치는 영향을 연구하였다. 높은 카본 밀도를 갖는 diamond의 적용은 성형체내 기공도를 증가시킬 수 있기 때문에 잔류 카본 없이 반응소결 탄화규소내 잔류 Si 양을 효과적으로 감소시킬 수 있었다. 최적 탄소원 배합 조성에서 잔류 Si이 3.5% 이하인 고밀도 반응소결 탄화규소가 제조되었다. 고밀도 반응소결 탄화규소의 Si 용점온도 이상인 1500 °C에서 고온강도는 200 MPa 정도이었다.

G3A-4 | 질화규소의 적용 확대를 위한 저온상압 고품질 소결

조성재^{1,2}, *박영조¹, 김미주¹, 김하늘¹, 마호진¹, 고재웅¹, 이재욱¹, 윤석영²

¹한국재료연구원, ²부산대학교

질화규소는 다양한 물성을 높은 수준으로 발휘하는 대표적인 엔지니어링 세라믹이지만 비싼 제조 단가에 기인하여 사용 영역이 제한되고 있다. 제조 단가를 낮추기 위한 다양한 시도가 있었지만 대부분의 경우 이에 동반하여 물성이 같이 저하되는 트랩에 빠지고 있었다. 본 연구에서는 첨가량 최소 5 wt.%의 Y_2O_3 -MgO-Al₂O₃ 3성분계 소결조제 조성으로, 분위기분말을 사용하지 않는 시편 장입조건에서, 1700 °C 이하의 온도와 질소 분압 1기압의 상압소결(pressureless sintering)에 의해

질화규소를 소결하였다. 동 시편의 3점강도는 1094 MPa로 측정되었는데, 본 연구에서 개발한 신조성 소결조제에 의한 저온 상압소결 질화규소의 강도는 타 기관에서 실시한 유사한 조건의 상압소결은 물론 1700 °C 이상에서 실시한 고가 공정의 가압소결(hot press) 또는 가스압소결(gas pressure sintering)의 강도에 비해서도 동등 이상인 것으로, 제조 단가를 낮추면서도 고품질화에 성공한 흔하지 않은 사례로 판단되며 향후 폭 넓은 적용이 기대된다.

G3A-5 | Spray dryer의 변수 조절을 이용한 초소형 3YSZ granule의 제조

손희진^{1,2}, 차현애¹, 조민기¹, 안철우¹, 한병동¹, *최종진¹, *윤석영²
¹한국재료연구원, ²부산대학교

재료의 분쇄 및 혼합을 위해 다양한 분야에서 사용되고 있는 세라믹 비드는, 매우 빠른 회전의 작업 속도를 견디기 위해 우수한 강도와 내마모성이 요구된다. 최근 원료 분말의 나노 크기로 미세화 및 집적화를 위해 기존에 사용되고 있는 비드보다 작은, 초소형 마이크로 단위의 비드가 요구되고 있다. 본 연구는 이러한 요구를 기반으로 하여, 세라믹 비드로 잘 활용되는 소재 3YSZ 분말을 사용하여 10 μm 사이즈의 초소형 세라믹 granule을 제조하였다. 이때 저점도의 슬러리로 분무건조 공정의 용의성을 높였다. Granule은 분무 건조 공정을 통해 제조하였으며, Pecelt number를 고려하여 공정의 변수들을 조절하였다. 이번 실험에서 고려된 변수들은 Powder content, Inlet air temperature, Feed flow rate, Ball milling time, Atomizing prssure 총 5가지이다. 각 변수들을 조절하여 변수 각각이 건조 입자의 형상 및 크기에 미치는 영향을 파악하였고, 초소형 고밀도의 grnaule을 제조할 수 있었다. 제조된 granule들은 입도 크기 분포 및 소결체의 미세구조, 진밀도 분석 등을 통해 특성 평가를 진행하였다.

G3A-6 | 하향식 방식의 적층가공으로 제작된 지르코니아 크라운의 변연적합도 평가

장경준¹, 이상규^{1,2}, 조광호¹, 정연성¹, 용선정¹, 이채연¹, 서원호¹, *유태경²

¹(주)쓰리디컨트롤즈, ²경희대학교

Zirconia restorations manufactured by the milling method are successfully used for single anterior and posterior restorations. Incorrect marginal fit of zirconia prostheses can lead to cavities between the prosthesis and natural teeth, resulting in periodontal disease. In this study, the marginal fit of zirconia crowns manufactured by milling machine and top-down additive manufacturing was compared and analyzed. Existing milling methods show excellent precision, but the fit result may vary or the precision may be lowered depending on the degree of use of the burr. In addition, different results may be shown depending on the limitations of the milling axis of CAD/CAM equipment

or the compensation value of the milling bur. The additive manufacturing method can solve all of these limitations because there is no consumption of cutting tools and complex shapes are processed with a constant layer thickness.

G3A-7 | Fabrication of Ceria decorated Yttria-Stabilized Zirconia (YSZ) Composites

KIM HyunSeon¹, JUNG Ji Hun¹, KIM BooCheol¹, JANG TaeHwan¹, *AN Gye Seok¹

¹Kyonggi University

Yttria-stabilized zirconia (YSZ), with 7-8% yttria, gains attention as a top coat for thermal barrier coatings in turbines, engines, and satellites. It offers high thermal conductivity (2.2-2.9 W/mK) and expansion coefficient ($11.0 \times 10^{-6} K^{-1}$), ensuring effective heat shielding. However, exposure above 1300°C leads to thermal fatigue and degradation. Ceria (CeO₂) aids in redox reactions, enhancing complex formation and durability by preventing particle aggregation at high temperatures. A novel approach synthesizes YSZ and ceria into a core-shell structure (YSZ@CeO₂), combining their benefits and avoiding segregation. YSZ particles are treated with acids or bases to form functional groups, enabling stable CeO₂ layer formation via self-assembly driven by surface charge. Chemical bonding, structural analysis, and morphological study are conducted. The YSZ@CeO₂ composites are anticipated to display excellent thermal durability.

G3A-8 | 희토류가 첨가된 YSZ Multi-Layer EB-PVD Coating 제작 및 물성 분석

이계원¹, 이인환², *오윤석¹

¹한국세라믹기술원, ²고려대학교

항공용 가스터빈 엔진의 고온부에 사용되는 부품은 Thermal Barrier Coating이 적용되어 고온의 작동 환경에서 엔진 부품이 내구성을 확보할 수 있도록 설계되어 있다. 이러한 Thermal Barrier Coating의 소재로 Yttria Stabilized Zirconia (YSZ)가 개발되어 상용화 되어 있다. 그러나 가스터빈 엔진의 효율 향상을 위하여 1200 °C 이상의 가스터빈 작동 온도가 요구되고 있으나, YSZ Coating이 높아진 작동 온도에서 지르코니아의 상변화에 의해 코팅층에 균열이 발생하거나 박리가 발생하는 문제가 대두되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 소재 부분에서는 YSZ에 다양한 희토류를 첨가하는 연구가 활발하게 수행되고 있으며, Coating의 구조 측면에서는 YSZ와 희토류가 첨가된 YSZ를 다층 구조로 쌓아 1200°C 이상의 고온 작동 환경에서 고온부 부품들을 보호할 수 있는 연구가 수행되고 있다. 본 연구에서는 기존에 개발한 YSZ에 Nd₂O₃와 Yb₂O₃를 섞은 소재를 고출력 EB-PVD를 활용하여 Multi-Layer TBC 샘플 제작 후

기초 물성 분석을 진행하였다. Multi-Layer TBC 샘플 제작을 위하여 EB-PVD용 Multi-Layer Ingot을 제작하였으며, 이를 EB-PVD 장비를 활용하여 증착 공정을 진행하였다. EB-PVD로 제작된 Multi-Layer Coating 샘플을 활용하여 미세구조 분석을 위하여 SEM 분석과 코팅층의 조성 분포를 확인하기 위하여 EDS 분석을 진행하였으며, 상형성 거동을 확인하기 위하여 XRD 분석을 진행하였다.

G3A-9 | 동종의 휘스커 입자 첨가가 Spark Plasma Sintering에 의한 자체 강화된 AlN의 물성에 미치는 영향

이다경¹, 김장수¹, 장근영¹, 서예원¹, 장가현¹, 안병호¹, 홍현선², *류성수¹

¹한국세라믹기술원, ²성신여자대학교

높은 열전도도를 가지는 질화 알루미늄(AlN)은 전기자동차의 전력모듈과 같은 전력관리장치에 필요한 방열기판의 핵심소재로써 각광받고 있다. 그러나, AlN은 상대적으로 기계적 물성이 떨어진다는 단점이 있고, 이를 극복하기 위해 본 연구에서는 AlN에 AlN Whisker(휘스커)를 첨가하여 AlN기반소재의 열적, 기계적 특성을 모두 향상시키고자 하였다. 소결은 Spark Plasma Sintering 공정을 통해 진행하였다. AlN에 AlN 휘스커와 소결조제인 Y₂O₃를 혼합한 분말을 다양한 소결온도 (1600, 1700, 1800, 1900 °C) 및 소결시간 (10, 20, 30 분) 에서 소결체를 제작하였고, 다음에 열거된 다양한 특성들을 분석하였다: 밀도, 미세구조, 결정상 분석, 열전도도, 경도, 파괴인성. 소결체의 밀도의 경우, AlN 휘스커의 존재여부와 상관없이, 소결온도가 1700 °C 이상일 때에는 상대밀도 98% 이상의 치밀한 소결체를 얻을 수 있었다. 열전도도의 경우, 1700 °C에서 소결한 시편의 경우 휘스커의 유무에 따라 큰 차이가 없었으나 (약 95 W/mK), 1800 °C 이상에서 소결한 시편의 경우에는 휘스커의 첨가와 소결시간 증가에 따라 열전도도가 150 W/mK 까지 크게 증가하였다. 경도의 경우, 소결온도 및 소결시간이 증가함에 따라 떨어지는 경향을 보였는데, 이는 결정립의 크기와 반비례하는 경도의 일반적인 경향이다. 비슷한 이유로 휘스커를 넣었을 경우에도, 경도가 약간 감소하였다. 파괴인성의 경우, 대부분의 시편에서, 휘스커의 유무와 상관없이 약 3 MPa · m^{1/2} 로 일정했다. 결과적으로, AlN 휘스커 첨가는 AlN의 물리적 특성을 어느정도 유지하면서, 열전도도를 의미있게 향상시키는 기여를 하는 것을 보여준다.

G3A-10 | Advancement in thermal interface materials: simulation and synthesis of the core/shell-structured Al₂O₃/AlN filler particles

DOWLA BISWAS MD ROKON UD¹, *YOON Dang-Hyok¹
¹Yeungnam University

The synthesis of efficient thermal interface materials (TIM) has become important for the applications in electric vehicles and electronic devices. To solve the challenge posed by sublimation during the flame spraying of molten AlN, a core/shell-structured Al₂O₃/AlN was synthesized using spherical Al₂O₃ by carbothermal

reduction and nitridation in conjunction with appropriate simulation. Experimental parameters, including temperatures of 1500 - 1600°C, N₂ pressure of 2 atm, holding times of 10 - 40 h, and the utilization of different carbon sources, were systematically explored to synthesize a desired Al₂O₃/AlN core/shell. Nitridation at 1500°C for 10 h resulted in the formation of core/shell Al₂O₃/AlN structure with the minimal core/shell gap, indicating promising interfacial integrity. On the other hand, nitridation at 1600°C for 20 h with phenolic resin as a carbon source revealed an increased AlN conversion rate along with the expanding of core/shell gap. There was a delicate relationship between spherical core/shell morphology and input variables. By combining the simulation and experimentation, this study explained the relation between the parameters and morphology, which can provide the way for the synthesis of Al₂O₃/AlN core/shell for TIM applications.

Keywords: Core/shell; Al₂O₃/AlN; Simulation; Heat transfer; Thermal interface material 방열필러용 코어/셸 구조를 가지는 구형 Al₂O₃/AlN의 전산모사와 제조방법

G3A-11 | AlN 소결체 내 이차상 제어를 통한 열전도도 연구

임수빈^{1,2}, 원효진¹, 김종영¹, 송태섭², *피재환¹

¹한국세라믹기술원, ²한양대학교

높은 열전도도(W/mK)와 절연 특성(band gap ~6.0 eV)으로 주목받는 질화알루미늄(AlN)은 강한 공유결합 특성으로 인해 소결시 치밀화가 어려운 것으로 잘 알려져 있다. 소결체의 밀도가 열전도도에 큰 영향을 미치기 때문에 일반적으로 소결조제를 사용하여 AlN을 소결한다. 소결조제 중 하나인 이트리아(Y₂O₃)는 AlN 입자 표면에 산소층과 결합, 액상 Y-Al-O 를 형성하여 치밀화에 도움을 준다. 그러나 YAP(YAlO₃), YAP(Y₄Al₂O₉), YAG(Y₃Al₅O₁₂)와 같은 이차상들이 결정입계화 삼중점에 형성되어 또는 산란을 일으켜 열전도 특성을 저하시키는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 다양한 이차상들을 생성하고자 AlN의 합성 시간을 달리하여 잔존 산소량을 0.753wt%에서 1.619wt%까지 조절한 AlN 파우더를 합성하였다. 잔존 산소량이 다른 AlN 파우더에 각각 5wt%의 이트리아를 첨가하였고, 어닐링 조건에 따라 이차상의 거동이 변화하는 것을 분석하였다. 어닐링 조건에 따라 이차상의 종류와 위치, 크기 등은 XRD, SEM 그리고 TEM을 통해 확인하였다. 어닐링 시간이 증가함에 따라 열확산도가 향상되는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 1700°C와 1750°C에서 어닐링을 하면 이차상이 결정립 경계에서 이차상이 삼중점으로 이동하는 것을 확인하였으며, 이를 이미지 분석 프로그램을 이용하여 통계적으로 분석하였다.

G3A-12 | Three-dimensional MgO filler networking composites with significant enhanced thermal conductivity

CHA hyun-ae¹, JO Min-Gi¹, MOON Young Kook¹,

Hahn Byung-Dong¹, Choi Jong-Jin¹, *Ahn Cheol-Woo¹,
*Kim Do Kyung²

¹Korea Institute of Materials Science, ²Korea Advanced
Institute of Science and Technology

In recent times, considerable research efforts have been directed towards optimizing ceramic/polymer composite materials at the design stage. Composites featuring distinct segregated structures have demonstrated more efficient pathways for thermal conduction compared to those with randomly distributed fillers. In our study, we present a novel approach involving a template method followed by sintering to create a lightweight, self-supporting MgO framework. Through vacuum-assisted filtration, three-dimensional (3D) hierarchical composite films with a layered MgO structure were formed. The gradual merging of grain boundaries among inorganic ceramic particles led to a significant reduction in thermal resistance between the fillers. Consequently, these composites exhibited notably higher thermal conductivity when compared to those containing randomly dispersed particles. Importantly, we present the pioneering demonstration of the superior performance of a 3D-network composite utilizing MgO ceramic filler. This research introduces an effective strategy for the application of MgO as an alternative to Al₂O₃ filler in high-power density electronic devices.