

SHS 마이크로파에 의한 (Ti·Si)C 복합체의 합성 및 소결특성에 관한 연구

이형복 · 권상호 · 이재원 · 안주삼*

명지대학교 무기재료공학과

*국립공업기술원 요업기술원

(1995년 6월 21일 접수)

Study on Synthesis and Characterization of (Ti·Si)C Composite by SHS Microwave

Hyung-Bock Lee, Sang-Ho Kweon, Jae-Won Lee and Zou-Sam Ahn

Dept. of Inorg. Mater. Eng., Myongji Univ.

*Insitute of Ceram. Tech., NITI

(Received June 21, 1995)

요 약

마이크로파 에너지를 이용하여 SHS법으로 (Ti·Si)C 복합체를 합성하였다. 합성분말은 X-선회절 분석기와 투과전자현미경을 사용하여 합성분말특성을 조사하였으며, 출발물질보다 매우 미세한 분말을 합성하였다. Temperature profile 결과 Si의 몰비 변화시에는 Si의 몰비가 증가함에 따라 합성온도와 연소속도는 감소하였고, C의 몰비가 증가함에 따라서는 거의 일정하였다. 합성분말을 1850°C에서 30 MPa의 압력으로 60분간 고온가압소결 하였을 때, Ti : Si : C의 비가 1 : 1 : 1.9 mol에서 가장 좋은 물성값을 나타냈으며 강도 및 경도 그리고 소결밀도는 각각 423 MPa, 21 GPa, 4.71 g/cm³이었다.

ABSTRACT

(Ti·Si)C composite powders were synthesized by SHS method using microwave energy. Compositional and structural characterization of the powder were carried out by using scanning electron microscopy and X-ray diffraction. The average particle size of the synthesized (Ti·Si)C composite powders was smaller than that of the starting materials. From the results of the temperature profile, combustion temperature and velocity were decreased with increasing Si molar ratio. With increasing C molar ratio combustion temperature and velocity did not change. (Ti·Si)C composite was sintered at 1850°C for 60 min by using hot-pressing with 30 MPa. The best properties were obtained from the sintered specimen whose composition was 1 : 1 : 1.9 molar ratio of Ti : Si : C. The sintering density, flexural strength and vickers hardness of the sintered body were 4.71 g/cm³, 423 MPa and 21 GPa, respectively.

Key words: (Ti·Si)C composite, SHS method, Microwave energy, Temperature profile, Combustion velocity

1. 서 론

세라믹스는 기계적 성질이 우수하고, 화학적으로 안정하며 우수한 전·자기적 특성을 갖고 있으나 공정에 소요되는 제조원가가 상대적으로 높아 실용화에는 많은 제약이 따라왔다. 이에 따라 제조공정상의 에너지를 절감하기 위한 새로운 공정들이 도입되게 되었는데 그 대표적인 예가 신소재의 합성에서 자전고온합성(SHS)법¹⁾과 마이크로파^{2,3)}가 각광을 받고 있다.

마이크로파를 이용한 세라믹스의 SHS합성은 여러가지 새로운 가능성을 제공하고 있다. 그 장점을 보면, 먼저 합성시간이 짧고 에너지 소비가 적어 제조단가를 낮출 수 있으며, 제품의 균일성과 수율을 증가시킨다 그리고 일반적으로 단열온도가 낮은 물질을 자전 고온 합성하기 위해서는 외부에서 추가적인 에너지의 공급이 필요한 화학료를 사용해야 하나 마이크로파에 의한 물질합성은 화학연료의 사용없이 적은 양의 에너지로 단열온도가 낮은 비산화물계 첨단 세라믹스를 합성하는 것으로 가장

간단하고 효과적인 방법이다. 또한 전통적인 SHS는 시편의 외부 한 점에서 점화하여 전파를 유도하나, 이 마이크로 합성은 시편의 중앙부에서 방사형으로 점화하는 것으로 내부 및 부피발열로 인해 시편의 내부온도구배 및 열흐름방식이 기존의 점화법에 의해 합성한 것과는 달리 일정한 조건하에서 정류상태 연소를 유도할 수 있다. 이러한 특징으로 인해 부피가 큰 시편도 초고속으로 균질 합성할 수 있으며, 열응력을 감소시켜 균열 방지 및 균일한 미세구조를 얻을 수 있다²⁾.

본 연구에서는 이러한 마이크로파를 이용하여 용융점이 매우 높고, 고경도일 뿐만 아니라 내산화성이 높으며 화학적으로 안정하여 현재 초경공구 및 연마재, cermet의 주요 재료와 세라믹 장갑재료로 유용한 (Ti·Si)C 복합체를 합성하고 합성중 온도 profile를 하였으며, 소결하여 소결특성을 연구하므로써 다른 여러가지 유용한 세라믹스 제조공정 개발 및 제조기술의 향상을 도모하고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 출발원료 및 시편조성

Table 1은 본 실험에 사용된 출발물질로 Ti, Si 및 C 분말의 특성을 나타내고 있으며 40~60 μm의 입자크기를 가지고 있다. Table 2는 본 실험에서 사용한 각 시편들에 대한 조성표이다. Ti를 1몰, Si를 1몰로 고정하였을 때에는 C를 1.5~2.1몰로 변화하였고, Ti를 1몰, C를 2몰로 고정하였을 때에는 Si를 0.8~1.2몰로 변화시켰다.

2.2. 분말합성 및 소결체 제조

Fig. 1은 마이크로파에 의한 (Ti·Si)C 복합체 합성의 대략적인 실험공정도이다. Ti와 Si 그리고 C분말을 Table 2의 화학 양론적 조성으로 무게를 평량한 후 산화방지 용매로 n-hexane를 사용하여 24시간 충분히 ball milling 하여 습식혼합한 후, 혼합 분말을 진공건조기에서 완전히 건조하였다. 그 후 혼합분말을 20 g 채취하여

Table 1. Characteristics of Ti, Si and C Powders Used as Starting Materials.

Starting Materials	Grade (mesh)	Purity (%)	Manufacturer
Titanium	-350	99.0	Osaka Titanium Co.
Silicon	-325	99.0	Aldrich chem. Co.
Carbon	-325	95.5	Katayama chem. Co.

이론밀도의 10~50%의 상대밀도가 되도록 pellet형 시편을 성형하였다. 이때 합성법을 SHS 직접점화법과 화학로법 그리고 마이크로파법 등으로 달리하여 합성에 있어서 시편의 성형밀도와 합성의 관계 그리고 각 방법에 따른 합성여부를 조사하기 위하여 전 조성에 대하여 상대밀도가 10%, 50%가 되도록 각각 성형하였다. 성형한 시편은 120℃의 진공건조기에서 24시간 충분히 건조한 후, Ar gas 분위기 하의 전자렌지(2.45 GHz, 1000 W) 안에 넣고 합성하였다. 합성중 temperature profile⁴⁾을 사용하여 시편의 합성온도 및 연소속도를 조사하였으며, 합성된 시편은 SEM과 XRD를 통해 미세구조 및 상분석을 행하였다.

이와 같이 합성된 분말을 270 mesh 전통시킨 후 1850℃에서 30 MPa의 압력으로 60분간 고온가압 소결을 한 후 로냉하였다. 소결된 시편의 물성을 측정하기 위하여 적임강도, 경도, 소결밀도를 측정하였다.

Fig. 2는 본 실험의 실험장치도이다. microwave cavity

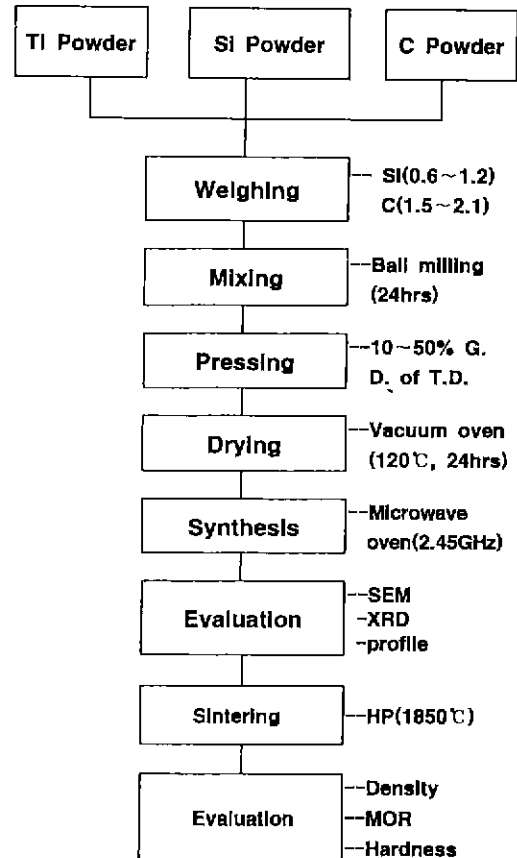


Fig. 1. Flow chart for the experimental procedure.

Table 2. The Symbol of Each Composition.

Sample No	Ti : Si : C	Sample No	Ti : Si : C
A1	1 : 0.6 : 2	B1	1 : 1 : 1.5
A2	1 : 0.8 : 2	B2	1 : 1 : 1.7
A3	1 : 1.0 : 2	B3 <td 1 : 1 : 1.9	
A4	1 : 1.2 : 2	B4	1 : 1 : 2.1

안에 시편을 넣고, 그 시편을 Al₂O₃ 단열체로 단열 하였으며 산화방지를 위하여 Ar gas를 주입하였다. 시편의 합성도중 합성온도를 알아보기 위하여 시편의 중앙부에 C-type 열전대를 장치하여 온도 profile 및 연소속도를 측정하였다. power는 가변 전압기를 이용하여 조절하였다.

2.3. 분석 및 측정방법

합성된 분체의 결정상을 확인하기 위하여 X-선 회절 분석기(Shimaduz사, model XD-D1, CuK α)를 사용하여 20~80°의 회절각(2 θ) 범위에서 분석하였으며 각각의 합성조건에 따른 입자형태와 크기 및 미세구조를 알아보기 위하여 SEM(ISI ABT사, model SX-30E)으로 관찰하였다. 출발입자의 크기는 particle size analyzer를 사용하여 측정하였다. 합성 중, 온도 profile을 측정하기 위하여 직경이 0.25 mm인 C-type thermocouple(W-5% Rh vs. W-26%Rh : Omega Engineering Inc.)을 사용하였으며 IBM PC와 Advantech사의 data acquisition system을 사용하였다. 연소속도는 시편에 1 cm의 간격으로 2개의 thermocouple을 장치하여 온도를 받아들이는 시간의 차이로 계산하였다.

고온가압 소결체의 상은 꺾임강도(MOR)는 Instron (Instron Japan사, Model 4240)을 사용하여 cross head speed 0.5 mm/min, Span 거리 25 mm의 조건으로 파괴하중을 구한뒤 꺾임강도를 계산하였다.

소결체의 경도를 측정하기 위하여 시편을 경면연마한 후 Vickers 미소경도 시험기로 측정하였으며 압입 후 15 초간 유지하였다. 1 kgf의 하중과 40 μ m/sec의 속도조건에서 측정된 압흔의 대각선 길이를 측정하여 Lee and Brun의 식으로 계산하였다.

소결체의 밀도는 KSL-3114(내화벽들의 기공율, 흡수율 및 비중 측정방법)에 따라 소결 시편을 물에 담가 100°C에서 3시간 끓인 후 시편의 부유무게와 포수무게를 측정하여 부피를 계산하고 시편의 건조무게로부터 계산하였다.

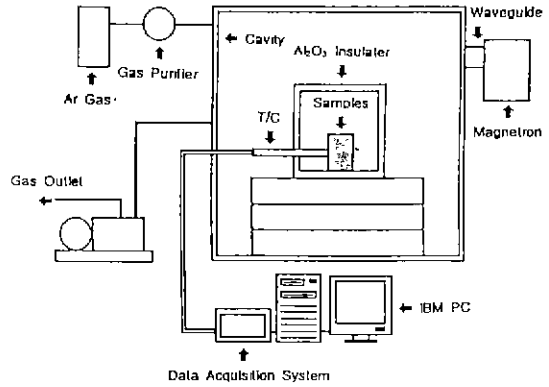


Fig. 2. Schematic view of experimental equipment.

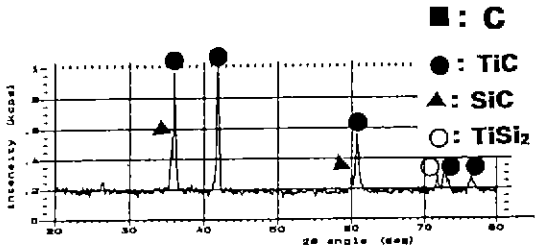
Table 3. Degree of Reaction with Si and C Contents by SHS, Chemical Furnace, SHS Microwave.

Composition	SHS		Chemical Furnace		Microwave	
	G.D \approx 10%	G.D \approx 10%	G.D \approx 10%	G.D \approx 10%	G.D \approx 10%	G.D \approx 10%
A1	○	○	○	○	○	○
A2	○	×	○	○	○	○
A3	○	×	○	○	○	○
A4	×	×	○	○	○	○
B1	○	○	○	○	○	○
B2	○	○	○	○	○	○
B3	○	×	○	○	○	○
B4	○	×	○	○	○	○

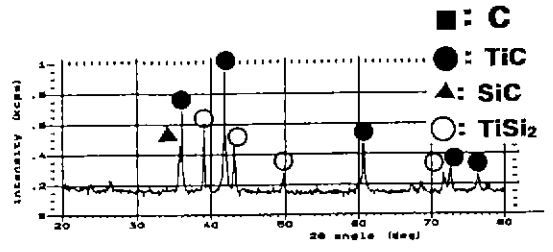
3. 결과 및 고찰

3.1. 합성법의 비교

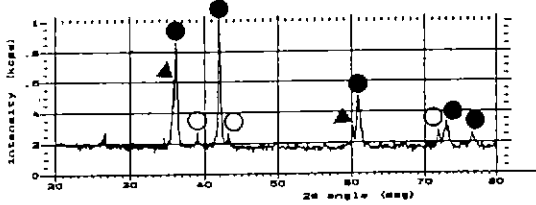
Table 3은 각 조성에서의 SHS 직접점화법, 화학로법 그리고 마이크로파법 합성의 각각의 반응여부를 나타낸 표이다. SHS 직접점화법에서는 성형밀도가 10%인 A4, 그리고 성형밀도가 50%인 A2, A3, A4, B3, B4에서 반응이 이루어지지 않았다. 이것은 Si의 양이 많을 수록 SiC 생성시 단일온도가 낮아지기 때문이라고 생각된다. 한편 화학로법과 마이크로파법에서는 전 조성에서 반응이 이루어졌음을 알 수 있다. 이것은 화학로의 연료에 의하여 충분한 열이 공급되기 때문이며, 마이크로파법은 시편의 부피발열에 인한 것으로 생각된다. 그러나 마이크로파법은 화학로에 비하여 화학연료 없이도 합성을 할 수가 있어 연료절약 측면에서 제조의 단가를 줄일 수



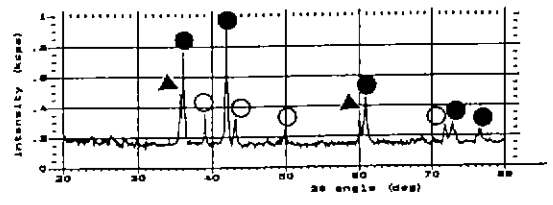
(a) A1



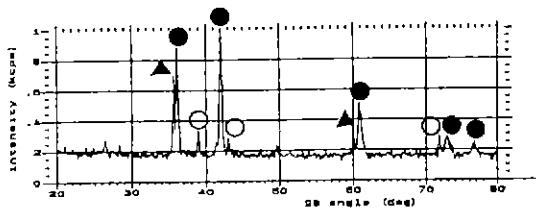
(a) B1



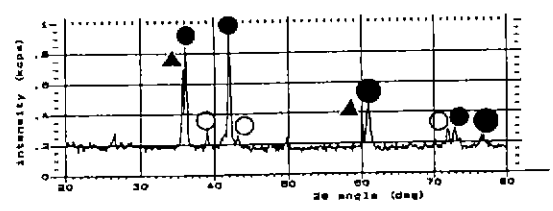
(b) A2



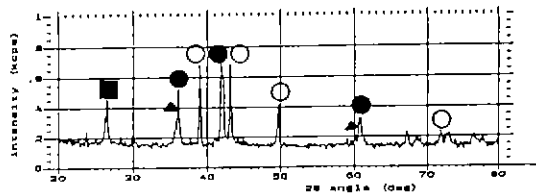
(b) B2



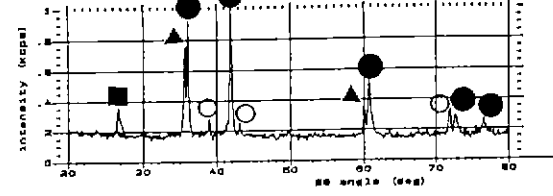
(c) A3



(c) B3



(d) A4



(d) B4

Fig. 3. XRD patterns of (Ti·Si)C powders prepared by the mixed reactants with various Si contents.

Fig. 4. XRD patterns of (Ti·Si)C powders prepared by the mixed reactants with various C contents.

있는 장점이 있다.

3.2. 합성분말특성

Fig. 3은 Ti와 C분말을 각각 1몰과 2몰로 고정하고 Si의 몰비를 0.6~1.2로 변화시키면서 SHS 마이크로파 법으로 합성한 시편을 275 mesh 전통시킨 후 X-ray 회절분석 결과를 나타낸 것이다. TiC, SiC 그리고 TiSi₂의 3가지 상이 나타나고 있으며, Si의 양이 증가할 수록

TiC와 SiC상은 감소하고 TiSi₂상은 증가함을 볼 수가 있다. 이것은 Si의 용융온도가 낮아 합성시 예열대에서 녹은 Si입자 내부로 Ti입자가 용융 Si입자로 빠르게 확산하여 TiC나 SiC 보다 먼저 용융입자 사이에서 생성 되었기 때문이라고 생각된다¹⁾. 또한 TiSi₂의 증가는 Ti와 Si, C가 화학양론적으로 반응함에 있어 Si의 몰비가 커짐에 따라 증가된 용융 Si입자 때문이라고 생각되며, TiSi₂의 증가로 상대적으로 TiC와 SiC는 감소한 것으로

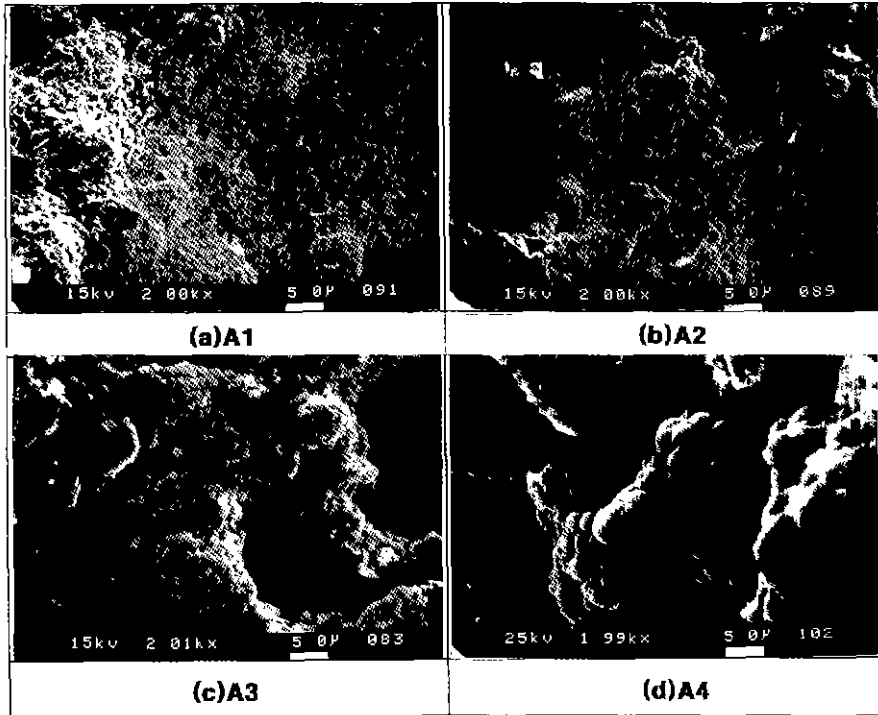


Fig. 5. SEM photographs of (Ti·Si)C composite surfaces fabricated from the mixed reactants with various Si contents.

생각된다.

Fig. 4는 Ti와 Si를 각각 1몰로 고정하고 C분말을 1.5~2.1몰로 변화시켜 합성한 X-ray 회절분석이다. Si를 변화시켰을 경우와 마찬가지로 3가지 상이 나타나고 있으며, C의 양이 증가할 수록 TiC와 SiC상은 증가하고 TiSi₂상은 감소함을 볼 수 있다. 이것은 C의 몰비 증가로 용융된 Ti와 Si에 반응하는 C가 증가되어 TiC와 SiC는 증가하고 상대적으로 TiSi₂는 감소한 것으로 생각된다.

Fig. 5는 Ti와 C분말을 각각 1몰과 2몰로 고정하고 Si의 몰비를 0.6~1.2로 변화시켜 합성하였을 경우의 미세구조 사진이다. 출발물질보다 매우 미세한 1~2 μm 생성물을 얻을 수 있었으며, Si의 양이 증가할 수록 입자의 성장이 일어나고 있다. 이것은 Si의 양이 증가할 수록 Fig 4에서와 같이 TiSi₂상이 증가되어 이것이 1500°C 이상에서는 액상으로 존재하여 입성장을 증가시킨 것으로 생각된다.

Fig. 6은 Ti와 Si를 각각 1몰로 고정하고 C분말을 1.5~2.1몰로 변화시켜 합성하였을 경우의 미세구조 사진이다. C의 양이 증가할수록 입자가 미세하며 액상이 거의 나타나지 않고 있다. 이것은 C의 양이 증가할 수록 SiC상은 증가하며, TiSi₂상은 감소하기 때문이라고 생각된다.

3.3. 합성중의 temperature profile

반응중 연소온도를 알아보기 위하여 A/D converter와 IBM PC를 사용하여 온도 profile을 얻을 수 있었다. 또한, 연소속도를 측정하기 위하여 시편에 1cm의 간격으로 2개의 열전대를 장치하여 연소속도를 측정하였다.

Fig. 7은 Ti와 C분말을 각각 1몰과 2몰로 고정하고 Si의 몰비를 0.6~1.2로 변화시켜 합성하였을 때의 온도 profile이다. Si의 몰비가 0.6인 경우에 2625°C의 높은 온도를 나타내었으며, 1.2인 경우에는 2250°C였다. 이와 같이 전 조성에서 2200°C 이상의 연소온도를 나타내며 Si의 함량이 증가함에 따라 온도가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이것은 Si의 몰비가 증가할 수록 T_{ad}가 낮은 SiC가 점차로 많이 생성되어 연소온도가 낮아지는 것으로 생각된다.

Fig 8은 Ti와 Si를 각각 1몰로 고정하고 C분말을 1.5~2.1몰로 변화시켜 합성하였을 때의 온도 profile이다. C의 변화에 따른 연소온도는 2000°C 이상의 거의 일정한 온도를 나타내고 있다. 이것은 Ti에 대한 C의 고용범위 (Ti/C=1.5~1.2)가 넓기 때문에 연소온도에 가장 큰 영향을 미치는 TiC의 합성온도가 거의 일정하기 때문이라고 생각된다⁶⁾.

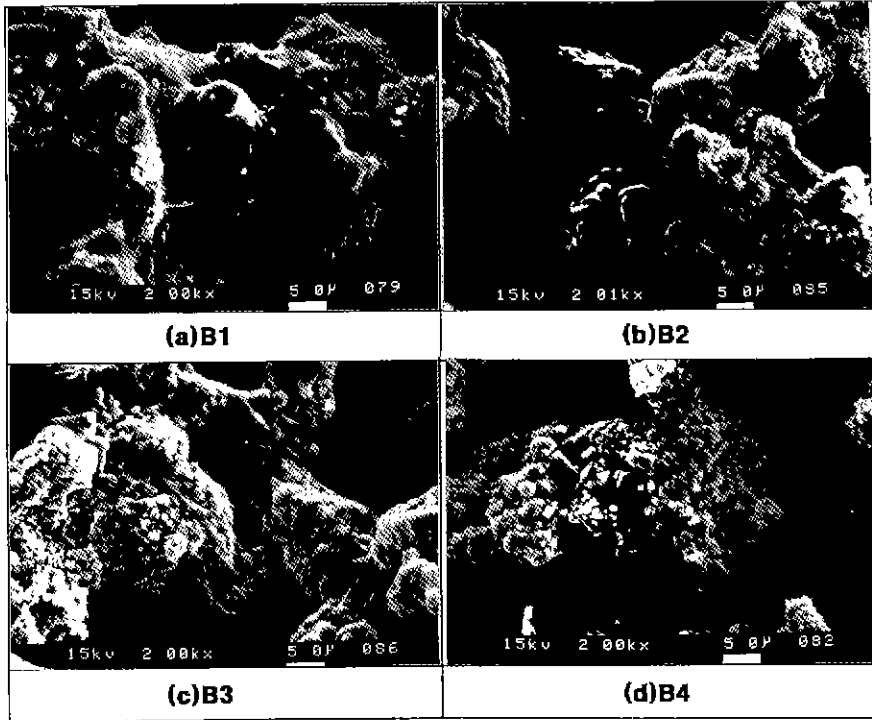


Fig. 6. SEM photographs of (Ti·Si)C composite surfaces fabricated from the mixed reactants with various C contents.

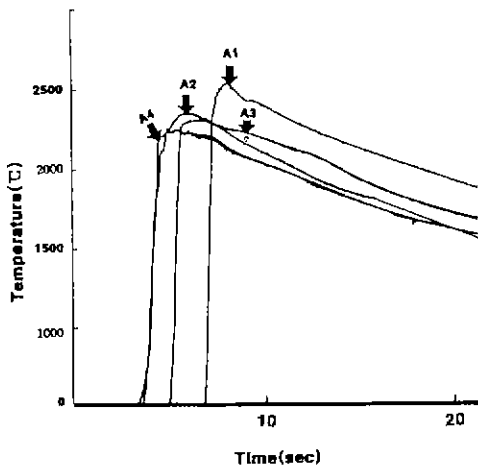


Fig. 7. Temperature profiles of (Ti·Si)C composites from the mixed reactants with various Si contents.

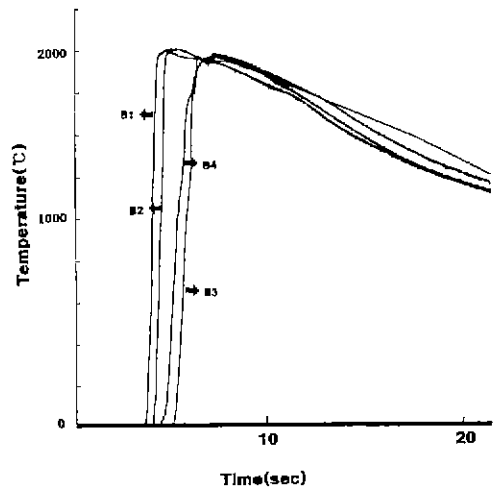


Fig. 8. Temperature profiles of (Ti·Si)C composites from the mixed reactants with various C contents.

Fig. 9는 Si를 변화시켜 합성할 때의 각 조성에 대한 연소속도를 나타내고 있다. Si 0.6 mol에서 8.93 mm/sec로 가장 빠른 연소속도를 나타내고 있으며, 0.8 mol일

때 5.5 mm/sec, 1.0 mol일 때 4.42 mm/sec, 1.2 mol일 때 3.92 mm/sec로 Si의 몰비가 증가함에 따라 Fig. 10에서 보는 바와 같이 연소속도가 점점 느려지고 있는

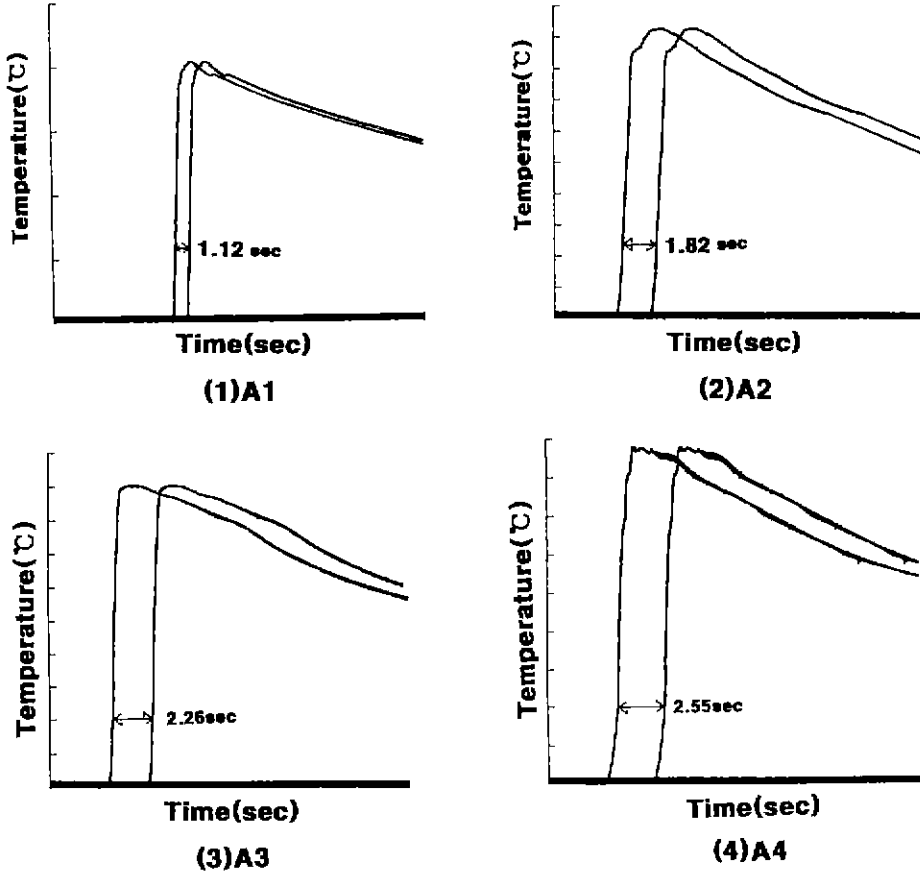


Fig. 9. Temperature profiles obtained by two thermocouples.

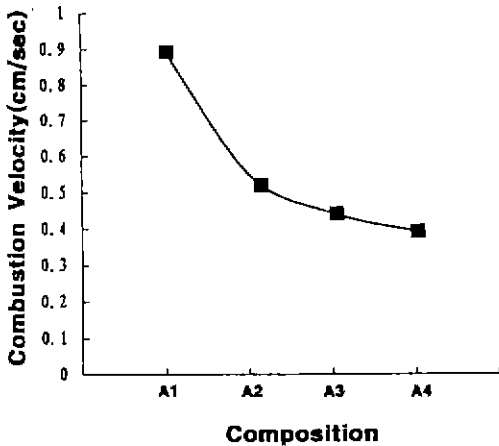


Fig. 10. Combustion velocities of (Ti·Si)C composites from the mixed reactants with various Si contents.

것을 볼 수 있다⁷⁾. 이것은 Fig. 8에서와 같이 Si의 몰비가 증가함에 따라 연소온도가 낮아지는 경향과 잘 일치하고 있다.

Fig. 11은 C을 변화시켜 합성할 때의 각 조성의 연소속도를 나타내고 있다. C의 몰비가 증가함에 1.5일 때 3.97 mm/sec, 2.1 mol일 때 3.73 mm/sec 정도로 Fig. 12에서 보는 바와 같이 거의 일정한 연소속도를 나타내고 있다. 이것은 위에 설명바와 같이 Ti에 대한 C의 고용 범위가 넓기 때문에 거의 일정한 연소온도를 나타낸 것과 비례하여 연소속도 또한 거의 일정한 것으로 생각된다. 따라서 (Ti·Si)C 복합체 제조시에 C의 함량 변화는 연소온도와 연소속도에 거의 영향을 주지 않는 것으로 생각된다.

3.4. 소결 특성

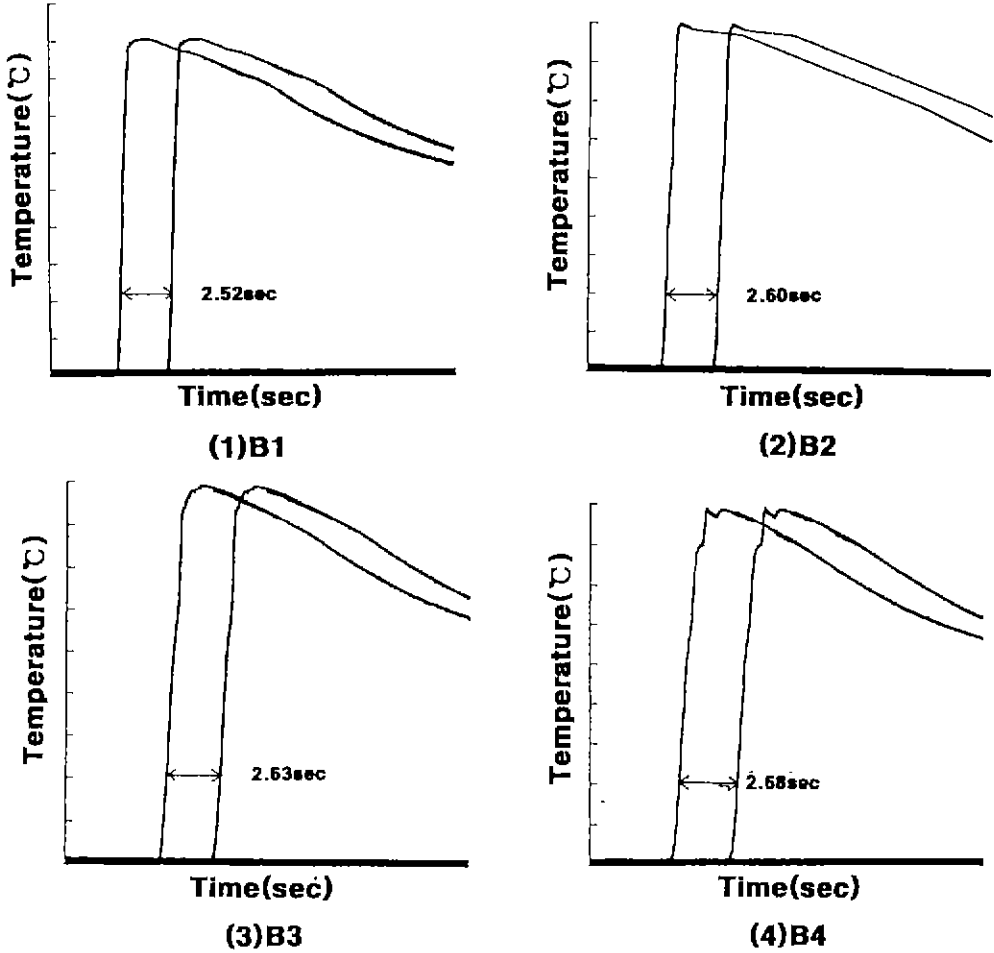


Fig. 11. Temperature profiles obtained by two thermocouples.

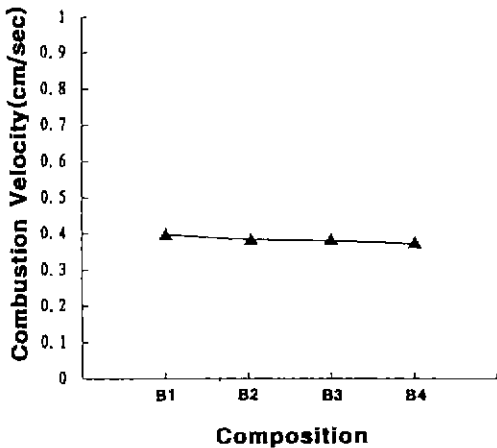


Fig. 12. Combustion velocities of (Ti·Si)C composites from the mixed reactants with various C contents.

Fig. 13은 Si와 C을 변화시켜 합성한 분말을 1850°C에서 30 MPa로 60분간 고온가압 소결한 후 소결체에 대한 파단면의 SEM 사진이다. Si가 0.6 mol에서는 SiC의 생성으로 TiC의 입성장이 억제되어 있음을 알 수 있으며, C가 1.7 mol에서는 SiC의 생성이 적어 입성장이 과대해져 있음을 알 수 있다. C가 1.9 mol에서는 화학양론적으로 반응하여 입성장이 억제되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 14는 소결체의 소결밀도를 측정하여 그 결과를 나타내었다. Si의 몰비 변화시에는 Si 0.6 mol에서 4.52 g/cm³의 가장 높은 소결밀도의 값을 나타내었으며, Si의 몰비가 증가함에 따라 소결밀도가 감소하는 것으로 나타나고 있다. 이것은 Si가 증가함에 따라 난소결성 물질인 SiC의 증가로 소결성이 떨어져 밀도값이 감소한 것으로 생각된다. C의 몰비 변화시에는 C 1.9 mol에서 가장 높은 소결밀도값 4.71 g/cm³을 나타내었으며, C 2.1

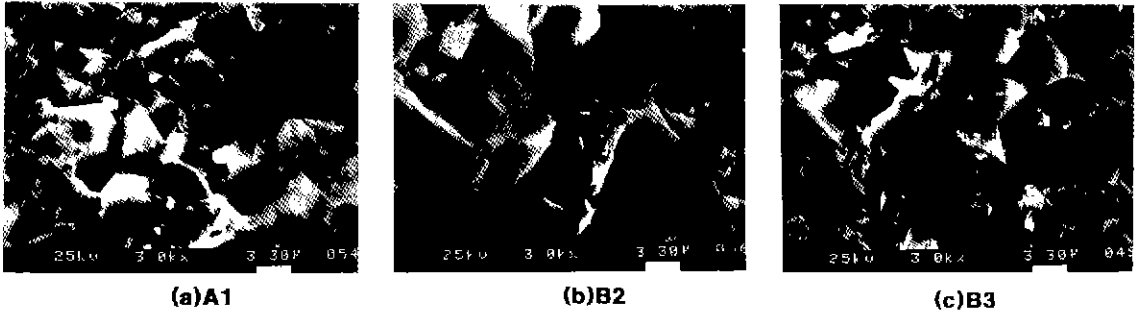


Fig. 13. SEM photographs of fracture surface of (Ti·Si)C composite sintered bodies as a function of molar ratio Si and C.

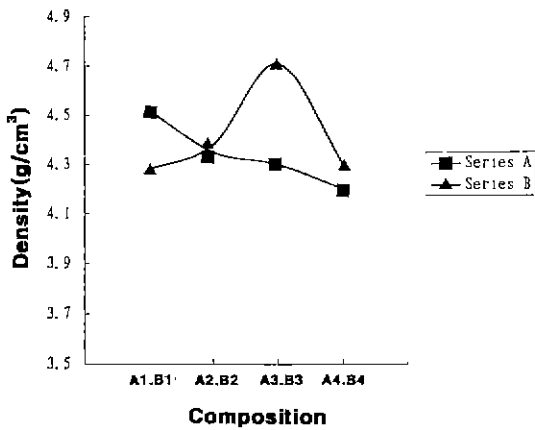


Fig. 14. Sintering densities of (Ti·Si)C composite as a function of molar ratio Si and C.

mol에서 가장 낮은 소결밀도 값인 4.27 g/cm³을 나타내었다. C 2.1 mol에서 가장 낮은 소결밀도값을 나타낸 것은 Fig. 5의 XRD pattern에서 볼 수 있듯이 미반응 C에 의해 소결성이 떨어지는 것으로 생각된다. 앞의 Fig. 14에서 볼 수 있듯이 Si 0.6 mol과 C 1.9 mol에서 가장 치밀한 조직과 균일한 입자를 나타낸 것과 잘 일치되고 있다.

(Ti·Si)C 복합체에 대한 꺾임강도를 측정하여 이에 대한 결과를 Fig. 15에 나타내었다. Si의 몰비를 변화시켰을 경우, Si 0.6 mol일 때 405 MPa의 꺾임강도를 나타내었고, Si의 몰비가 증가함에 따라서는 꺾임강도가 감소하여 Si 1.2 mol일 때 355 MPa를 나타내었다. 그러나 C의 몰비 시켰을 경우는 C의 함량이 증가함에 따라 증가하다가 C가 2.1 mol일 때 감소하는 것으로 나타나 있다. 이것은 Si의 몰비가 증가함에 따라 난소결성 물질인 SiC 생성이 증가되기 때문에 꺾임강도가 감소하는 것으로 나타나고 있으며, C의 첨가 경우에 1.9 mol일 때

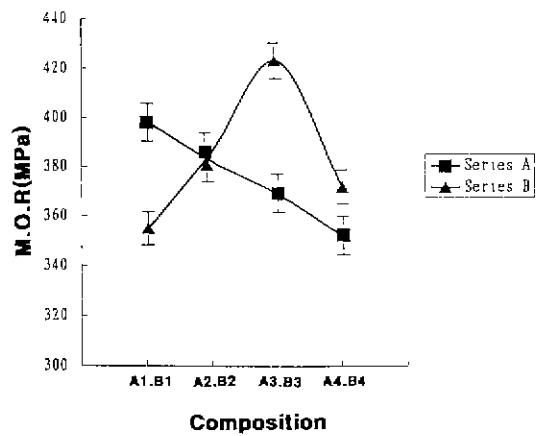


Fig. 15. M.O.R of sintered (Ti·Si)C composite as a function of molar ratio Si and C.

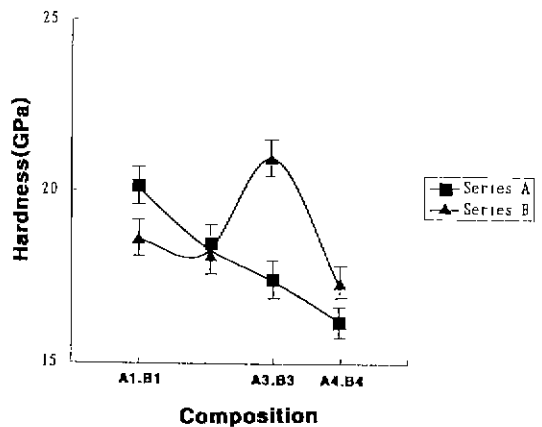


Fig. 16. Hardness of sintered (Ti·Si)C composite as a function of molar ratio Si and C.

가장 높은 값을 나타내는 것은 SiC는 Si과 C가 화학양론적으로 반응하고, TiC는 Ti 1몰에 C 0.9몰일 때 가장 높은 값을 나타내는 것과 잘 일치하고 있다¹¹⁾.

Fig. 16은 (Ti·Si)C 복합체에 대한 경도 측정결과를 나타내었다. Si의 몰비변화시에는 Si 0.6 mol에서 20.1 GPa의 가장 높은 경도값을 나타내었고, C의 몰비변화시에는 치밀화가 잘 이루어진 C 1.9 mol에서 가장 높은 21 GPa의 경도값을 나타내었고, 그 이상 첨가한 경우에는 소결밀도의 감소로 인해 경도값이 감소하였다. 이것은 앞에서 고찰한 바와 같이 SiC 생성량이 많아지면 소결성의 저하로 경도가 감소하며, 특히 미반응 C가 남아 있으면 경도값이 감소하는 것으로 나타나고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 SHS 마이크로파를 이용하여 Si과 C의 몰비를 변화시켜 (Ti·Si)C 복합체를 합성하였고, A/D Converter와 IBM PC를 이용하여 합성중의 온도 profile을 행하였다. 합성된 생성물을 270 mesh 진통시킨 후 1850°C에서 30 MPa의 압력으로 60분간 고온가압소결하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존의 SHS법에서는 성형밀도가 높아짐에 따라 선택적으로 합성이 이루어졌으나 microwave법에서는 성형밀도에 관계없이 합성이 이루어졌으며, 화학로에서 필요한 화학연료 없이 합성을 할 수 있었다.

2. silicon이 0.6~1.2 mol로 점차 증가됨에 따라 TiSi₂상은 증가되었고, carbon이 1.5~2.1 mol로 증가됨에 따라 TiSi₂상이 감소하였다. 또한 출발물질보다 미세한 합성분말을 얻을 수 있었다.

3. 온도 profile의 결과 carbon의 변화에 따른 연소온도는 거의 일정하였으나, 반면 silicon이 감소함에 따라 연소온도는 증가하였고 silicon 0.6 mol에서 2625°C의 최고온도를 얻었다. 연소속도는 silicon의 몰비가 증가함에 따라 느려졌고, carbon의 몰비 변화시에는 거의 일정하였다.

4. 고온가압소결시, silicon의 몰비 변화시에는 Si 0.6 mol(A1 조성)에서 가장 좋은 물성을 나타내었으며, 꺾임강도 및 경도, 소결밀도는 각각 396 MPa, 20.1 GPa, 4.64 g/cm³이었다. carbon의 몰비변화시에는 C 1.9 mol(B3조성)에서 가장 좋은 물성을 나타내었으며, 강도 및 경도, 소결밀도는 각각 423 MPa, 21 GPa, 4.71 g/cm³이

었다. 본 연구에서 (Ti·Si)C 복합체 제조시에 최적의 조성은 Ti : Si : C의 몰비가 1 : 1 : 1.9임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 94년도 한국학술진흥재단 자유공모과제(과제번호 01 E 0755) 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. A. Varma and J.P. Lebart, "Combustion Synthesis of Advanced Material," *Chemical Engineering Science*, **47** (9-11), 2179-2194.
2. S.R. Oh, "A Study on the Microwave Sintering of Alumina Ceramic," M.S. Thesis KAIST, 1991.
3. W.H. Sutton, "Microwave Processing of Ceramic Materials," *Am Ceram. Soc. Bull.*, **68**(2), 376-86 (1989).
4. S.D. Dunmead, Z.A. Munir and J.B. Holt, "Temperature Profile Analysis in Combustion Synthesis: I, Theory and Background," *J. Am. Ceram. Soc.*, **75**(1), 175-79 (1992).
5. 山田 修, "燃焼合成の 反應構造を 解析する," *New Ceramics*, **3**(6), 53-69 (1990).
6. J.B. Holt and Z.A. Munir, "Combustion Synthesis of Titanium Carbide: Theory and Experiment," *J. Mater. Sci.*, **21**, 251-259 (1986)
7. W.L. Frankhouser and S.T. Sullivan, "Thermochemical Consideration in Self-Sustaining Synthesis of Refractory Compound," SPC Report 814, System Planning Corporation, August 1982.
8. L.L. Henck and J.K. West, "Principles of Electronic Ceramics," John Wiley and Sons, p. 189, New York (1990).
9. R.E. Newnham, S.J. Jang, M. Xu and F. Jones, "Fundamental Interaction Mechanisms between Microwave and Mats," *Ceram. Trans.*, **21**, 51-68 (1991).
10. W.R. Tinga, "Interaction of Microwave with Materials," Proc. of IMPI Short Course for Users of Microwave Power, p. 19-29 (1970)
11. W.R. Tinga, "Fundamentals of Microwave-Material Interaction and Sintering," *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **124**, 33-44 (1988).
12. B.W. Bruce, "New Frontiers in the Use of Microwave Energy: Power and Metrology," *Mat. Res. Soc. Symp. Proc.*, **124**, 3-15 (1988).