

## 고압연소 소결(HPCS)법에 의한 탄화티타늄(TiC)의 합성 및 소결

김지현 · 최상욱 · 조원승 · 조동수 · 오장환

인하대학교 무기재료공학과  
(1997년 4월 8일 접수)

### Simultaneous Synthesis and Sintering of Titanium Carbide by HPCS(High Pressure-Self Combustion Sintering)

Ji Hyun Kim, Sang Wook Choi, Won Seung Cho, Doo Soo Jo and Jang Hwan Oh

Dept. of Ceramic Engineering, Inha University  
(Received April 8, 1997)

#### 요 약

탄화티타늄(TiC)은 강한 공유결합을 하고 있어서 소결성이 나쁘므로 치밀한 티타늄 소결체의 제조에 있어서는 고온에서의 가압소결이나 Ni, Mo, Co 등의 소결조제를 첨가한 액상소결을 행하는 것이 일반적이다. 가압소결이나 액상소결법은 (1)공정이 복잡하고 (2)연료가 많이 쓰이며 (3)반응물 중에 불순물이 혼입되는 등의 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 탄화티타늄 소결체 제조시의 단점을 완화하기 위하여 고압연소합성(HPCS)법으로 금속티타늄과 탄소간의 화학반응으로 탄화티타늄분말을 합성하였고, 동시에 그 반응열을 이용하여 치밀한 소결체를 제조하는 최적조건을 조사하였다. 그 결과 소결체의 치밀도는 (1)반응시 압력이 400 kgf/cm<sup>2</sup>에서 1200 kgf/cm<sup>2</sup>으로 증가할수록 증가하여 가장 높은 치밀도는 1200 kgf/cm<sup>2</sup>의 압력하에서, (2)탄소공급원으로 조대한 활성탄이나 흑연대신에 미세한 카본블랙을 사용했을 때, (3)티타늄에 대한 탄소의 몰비(C/Ti)가 1일 때 가장 높은 것으로 나타났다. 실제로, 티타늄에 대한 카본블랙의 몰비를 1로 하고 1200 kgf/cm<sup>2</sup>의 소결압력하에서 탄화티타늄을 제조한 결과 소결체의 겉보기 기공율은 0.5%, 상대밀도는 98%로 비교적 치밀함을 보였다.

#### ABSTRACT

Titanium carbide(TiC) has a poor sinterability due to the strong covalent bond. Thus, it is generally fabricated by either hot pressing or pressureless-sintering at elevated temperature by the addition of sintering aids such as nickel(Ni), molybdenum(Mo) and cobalt(Co). However, these sintering methods have the following disadvantages; (1)the complicated process, (2)the high energy consumption, and (3)the possibility of leaving inevitable impurities in the product, etc. In order to reduce above disadvantages, we investigated the optimum conditions under which dense titanium carbide bodies could be synthesized and sintered simultaneously by high pressure self-combustion sintering(HPCS) method. This method makes good use of the explosive high energy from spontaneous exothermic reaction between titanium and carbon. The optimum conditions for the nearly full-densification were as follows :

(1) The densification of sintered body becomes high by increasing the pressing pressure from 400 kgf/cm<sup>2</sup> upto 1200 kgf/cm<sup>2</sup>.

(2) Instead of adding the coarse graphite or activated carbon , the fine particles of carbon black should be added as a carbon source.

(3) The optimum molar ratio of carbon to titanium(C/Ti) was unity. In reality, titanium carbide body which were prepared under optimum conditions had relatively dense textures with the apparent porosity of 0.5% and the relative density of 98%.

**Key words :** High Pressure self-Combustion Sintering, TiC, SHS, Relative density, Porosity.

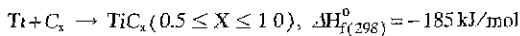
## 1. 서 론

탄화티타늄은 경도(31.4GPa) 및 용융점(3065~3257°C)이 높고 전기 저항(60~250  $\mu\Omega\text{cm}$ )이 낮은 재료로서 내마모성 및 내침식성이 우수하여 절삭공구 및 연마재료로서 널리 사용되고 있다.

탄화티타늄은 1) 직접 탄화법, 2) 환원 탄화법, 3) 용매석출법, 4) 화학증착법 등으로 합성<sup>1)</sup> 되고 있으나 이것은 원래 강한 공유결합성으로 소결성이 나쁘므로 치밀한 소결체를 얻기가 어렵다. 따라서 치밀성의 탄화티타늄 소결체를 제조하는 방법의 하나로서는 일반적으로 고온에서 가압소결법이나 액상소결<sup>2)</sup>을 이용한다.

그러나 연소합성반응시 반응물에 압력을 가하는 고압 연소소결(HPCS)법<sup>3)</sup>을 사용하면 합성과 동시에 소결이 진행되므로 종래의 소결법에 비해 고밀도 세라믹스 소결체(sintered compact)의 제조공정을 대폭적으로 단순화 할 수 있을 것으로 기대된다.

티타늄과 탄소와의 연소합성반응에 의해 생성되는 탄화티타늄은 아래 식에서와 같이 비화학양론화합물로 티타늄 1몰에 대한 탄소의 함량변화는 0.5~1.0몰까지 변하며 합성반응의 결과 열을 방출한다.<sup>4)</sup>



따라서 상기의 자발적 발열 반응을 이용한 자전연소 합성(SHS)법<sup>4,7)</sup>이 행하여지고 있고, 또한 난소결성을 극복하기 위하여 고압연소소결(HPCS)<sup>5-8)</sup>법에 의한 소결이 시도되고 있으나 체계적인 연구는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 1차적으로 금속티타늄과 탄소와의 연소합성 특성을 규명한 다음, 2차적으로 고압연소소결(HPCS)법으로 탄화티타늄의 연소합성과 동시에 소결을 하고자 하였다. 이 과정에서 탄화티타늄 소결체에 영향을 주는 반응인자중 합성이 시작되는 전압과 전류값, 반응시 가하는 압력 변화에 따른 영향, 탄소종류에 따른 반응성의 변화 및 티타늄과 탄소의 혼합비율에 따른 소결특성에 관해서 조사하고, 그 최적 조건으로 높은 물성을 지닌 탄화티타늄의 소결체를 제조하였다. 이 소결체에 대하여는 각 변수에 따라 물성을 조사함으로써 최적의 제조조건을 규명하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1. 원료

고압연소소결법으로 탄화티타늄 소결체를 제조하기 위하여 티타늄, 카본 블랙, 흑연 및 활성탄 등을 원료로 사용하였다.

Table 1. Characteristics of Raw Materials

	Raw materials	Purity (wt%)	Mean particle size ( $\mu\text{m}$ )
Metal	Ti	99.98	0.72
Carbon	Carbon black	99	0.024
	Activated carbon	98.9	26.37
	Graphite	99	34.64

이들 원료의 순도 및 평균입경 등을 측정한 결과를 Table 1에 나타내었고, 그 입자모양 및 크기를 주사전자현미경으로 관찰한 결과는 Fig. 1과 같다. 흑연과 활성탄의 평균입자크기는 카본블랙에 비하여 1000배이상 큰 것이었다.

### 2.2. 실험장치

탄소와 금속티타늄으로 부터 탄화티타늄 소결체를 제조하기 위하여 사용한 HPCS장치와 몰드는 Fig. 2에 나타내었다. 이 장치에서 작은 압력을 가하면서 반응시킬 경우, Fig. 2(b)의 상단에 나타낸 바와 같이 반응용기 내부의 밑면에는 전기절연을 할 수 있도록 절연판을 깔았고, 시편에 통전과 압력을 가할 수 있도록 되어 있으며, 압분체에 통전을 할 수 있도록 하기 위해 저항이 작고 고온에서 잘 견딜 수 있는 니켈판을 전극으로 하였으며 금속봉을 압력전달체로 사용하였다. 성형틀은 2중으로 구성되어 있으며 내부 성형틀은 알루미늄나일 배토를 성형한 뒤 소성하여 만든 세라믹 성형틀로서 전기 절연과 단열을 시킬 수 있게 하였고 그 외부를 탄소 링으로 만든 성형틀로 감싸주어 강도를 보강시켰다. 시편과 금속봉 사이에는 고온에서 잘 견디고 강도가 있는 흑연판을 두었고 흑연판과 시편의 접촉을 용이하게 하기 위해 부드러운 탄소종이를 삽입하였으며, 뒷쪽 니켈판 위에서 유압을 이용한 플런저로 시편을 치밀화시키기 위해 압력을 가할 수 있게 하였다. 고압(400~1200  $\text{kgf/cm}^2$ )의 경우에는 반응기 내부를 Fig. 2(b)의 하단에 나타낸 바와 같이 내부와 외부의 몰드를 모두 탄소제질의 몰드로 하였다. 따라서 금속제질의 몰드에 비해 탄소제질의 몰드가 고온고압에 잘 견디며, 같은 재질의 몰드를 이중으로함으로써 열전달에 의한 열손실을 막을 수 있다.

### 2.3. 시편의 제조

탄화티타늄 소결체를 제조하는 공정도를 Fig. 3에 나타내었다.

티타늄 : 탄소(카본 블랙, 활성탄 또는 흑연)=1:(0.6~1.2)몰의 범위로 변화시켜 가며 칭량한 후, n-hexane에 섞어 12시간 동안 ball milling 하여 혼합하고 진공에서

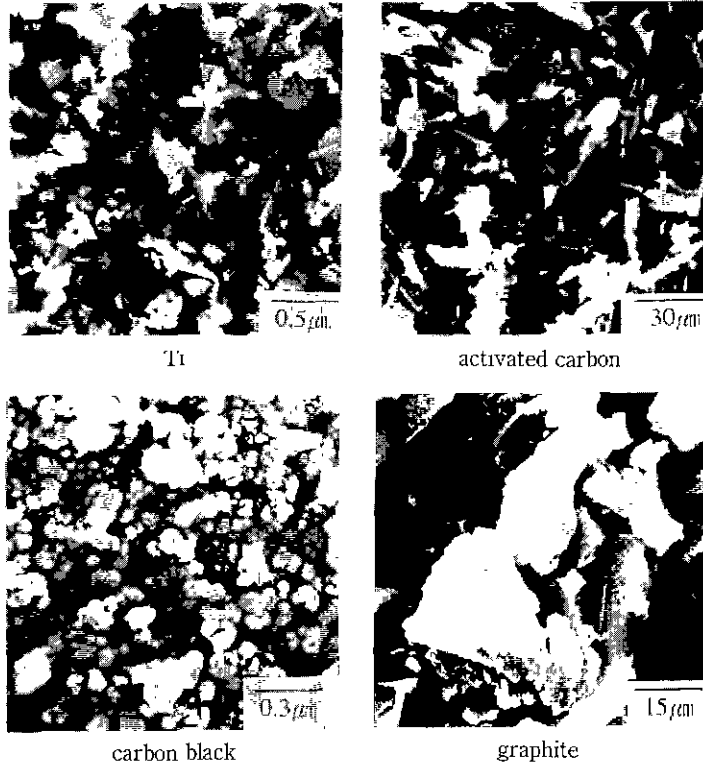


Fig. 1. SEM micrographs of the raw materials.

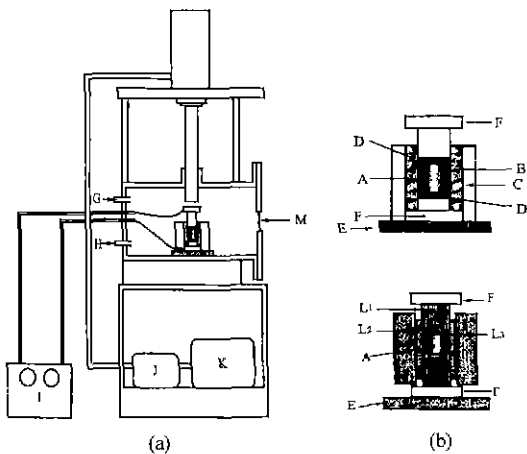


Fig. 2. Schematic diagram of synthesis apparatus and mold for the HPCS process.

- (a) synthesis apparatus
- (b) mold
- A : sample
- B : ceramic mold
- C : metal mold
- D : graphite disc
- E : insulation plate
- F : Ni plate
- G : gas inlet/outlet port
- H : vacuum exhaust port
- I : power supply
- J : pump
- K : motor
- L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, L<sub>3</sub> : Graphite mold
- M : view port

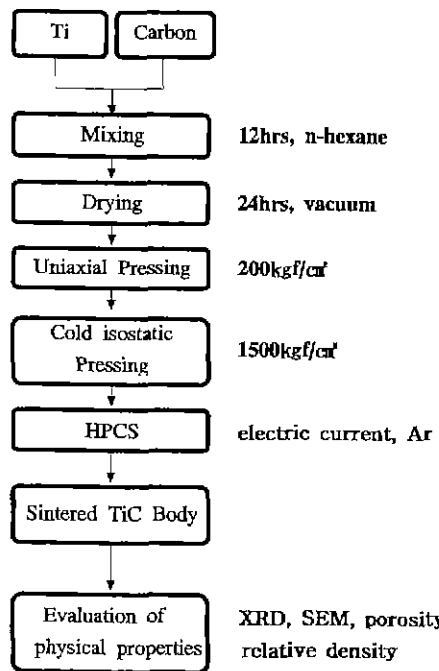


Fig. 3. Experimental procedure for the preparation of sintered TiC bodies by the HPCS process.

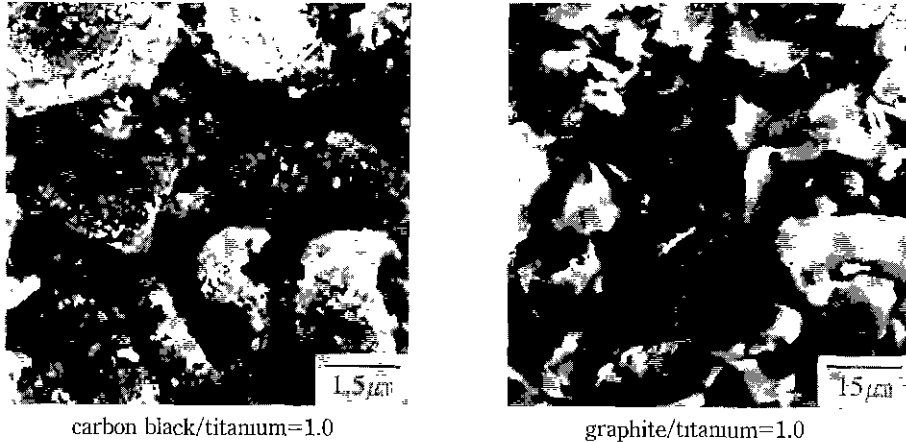


Fig. 4. SEM micrographs of mixtures of carbon and titanium after ball-milling for 12 hours.

24시간 동안 건조하여 분말로 만들었다. 이때 카본블랙과 티타늄, 흑연과 티타늄 혼합물의 물비를 각각 1:1로 하였을 때 그 비표면적(BET법)은 각각  $43.06 \text{ m}^2/\text{g}$ 와  $5.06 \text{ m}^2/\text{g}$ 이었고 이들의 주사전자현미경 관찰결과를 Fig. 4에 나타내었다. 카본블랙을 사용한 경우 티타늄입자 위에 입자크기가 작은 카본블랙이 붙어 있는 것을 볼 수 있고 흑연을 사용한 경우 흑연입자가 분쇄 전과 비교하여 별로 작아지지 않은 것을 볼 수 있다. 이 혼합된 분말들을 1축가압성형한 후 다시 냉간등축가압성형하여 펠렛형의 분말 압분체(직경 25 mm, 길이 40 mm)를 만들었다. 알콘분위기에서 이 압분체에 전기를 통전(通電)시켜 시편 전체에 열 폭발(thermal explosion)법<sup>5)</sup>이 일어나도록 하였다.

## 2.4. 측정 및 관찰

### 2.4.1. 결정상 분석 및 미세구조의 관찰

합성 또는 소결된 시편의 결정상을 조사하기 위하여 X선 회절분석(Philips사, PW-1710)을 하였다. 측정 조건은  $\text{CuK}\alpha$ 선을 이용하여  $20^\circ\sim 80^\circ$ 범위에서 주사속도  $6^\circ/\text{min}$ 으로 행하였다.

또한 합성된 소결체의 입자모양, 입자크기와 미세구조를 관찰하기 위하여 파단면과 연마면을 주사 전자현미경(Hitachi사, X-650)으로 관찰하였다. 연마면은 시편의 표면을 다이아몬드 wheel로 #200, #800, #1500의 순으로 연마하고,  $0.6 \mu\text{m}$ 크기의 다이아몬드 paste로 경면연마 하였다. 관찰 조건은 시료를 IB-2 ion coater(Giko Engineering사)에서 ion current를 8 mV로 하고 4분간 유지하여 Au로 코팅한 후, 가속전압 25 kV로 하여 관찰하였다.

### 2.4.2. 겉보기 기공률 및 부피밀도 측정

소결체의 겉보기 기공률과 부피밀도를 측정하기 위해

여 ASTM C 830을 참조하여 측정장치를 제작하였다. 그 측정방법은 진공 용기내에 시편을 넣고 등유를 채운 후, 진공 펌프를 사용하여 시편이 들어 있는 용기를 진공으로 3시간 동안 유지하여 시편 내부를 등유로 포유시켰으며 알키메데스의 원리에 따라 겉보기 기공률과 부피 밀도를 측정 하였고, 별도로 참밀도를 측정하여 부피밀도와의 백분율로서 상대밀도로 하였다.

### 2.4.3 격자상수값의 계산

탄화티타늄의 격자상수값(a)은 X선 회절 분석결과로부터 얻은 d값을 다음 식에 대입하여 구하였다.

$$a = d \times \sqrt{h^2 + k^2 + l^2}$$

여기서, a : 격자상수

d : 면간거리

h, k, l : 면 지 수

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 탄화티타늄의 연소형태

금속티타늄과 탄소를 혼합하여 만든 성형체를 반응기에서 연소 반응을 시켜  $\text{TiC}_x$ 를 합성 및 소결시켰다. 시편에 직접 전류를 흘려주는 방법(통전법)으로 처음에는 전압을 천천히 증가시켰고 이에 따라 전류도 비례적으로 증가하였다. 전압이 증가함에 따라 시편은 저항열에 의해 가열되어 붉은색을 띠었고 시간이 흐름에 따라 점점 밝은 빛을 띄었다. 전압과 전류가 급격히 변하는 부근에서 더욱 밝은 빛을 내다가 순간적으로 시편 전체에서 반응이 일어났다. 이 연소합성은 일반적으로 알려져 있는 정상연소와 불안정연소(진동연소, 반복연소, 스파인 연소 그리고 표면연소)와는 현저히 다른 열 폭발법과 비슷하였다.

3.2. 탄화티타늄 합성의 반응

금속티타늄, 탄소 및 탄화티타늄의 상변화와 발열량 자료<sup>3)</sup>를 Fig. 5<sup>4)</sup>에 반응물과 생성물의 융점, 기화온도 및 반응온도를 Fig. 6<sup>3)</sup>에 나타내었다. 그림에서 보는데와 같이 298~1930K 온도 범위에서 반응물질인 티타늄과 탄소는 모두 고체이고, 온도가 증가함에 따라 티타늄은  $\alpha$ 상에서  $\beta$ 상으로 변하고 온도가 계속 증가함에 따라

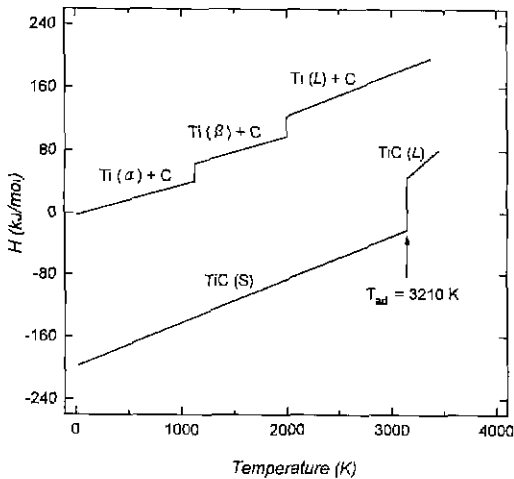


Fig. 5. The enthalpy variation curve according to the temperature in the reactants(Ti, C) and the product(TiC).<sup>4)</sup>

$\beta$ 상이 녹는점인 1930K에서 액상으로 바뀌기 시작하고 이 액상에 고체 탄소가 확산되어 탄소 입자들이 액상 티타늄으로 둘러 쌓인 후 온도가 계속 증가하여 탄화티타늄의 단일 반응온도 부근인 3210K에서 반응하여 탄화티타늄이 된다.<sup>3)</sup> 이때 합성된 탄화티타늄은 액상 티타늄의 표면장력으로 인하여 대부분 구형으로 존재할 것으로 생각된다.

3.3. 압력의 변화가 탄화티타늄의 치밀화에 미치는 영향

탄화티타늄의 합성반응시 압력을 가하여 치밀질 소결체를 제조함에 있어서 압력의 변화가 치밀화에 미치는 영향을 조사하기 위해, 우선 금속티타늄분말에 카본블랙을 첨가한 후 400~1200 kgf/cm<sup>2</sup>으로 압력을 변화시켜 소결체를 제조하였다. 합성된 탄화티타늄 소결체의 파단면과 연마면을 관찰한 주사전자현미경 사진을 각각 Fig. 7과 8에 나타내었다. Fig. 7의 (A)와 같이 낮은 압력에서는 합성된 탄화티타늄 입자가 구형의 모양으로 서로 붙어 있고 기공이 많이 있음을 볼 수 있다. 이와 같이 생성물에 기공이 생기는 것은 Holt등<sup>19)</sup>이 보고한 바와 같이 반응물과 생성물의 몰부피(molar volume)의 차이와 반응물 중에 흡착되어 있던 H<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub> 및 CH<sub>4</sub> 기체가 소결체내에 잔류함으로써 발생한 것으로 생각된다. 이러한 기공을 제거하고 치밀화시키기 위해 압력을 증가시킨 결과 (C)와 같이 기공이 없고 치밀한 시편이

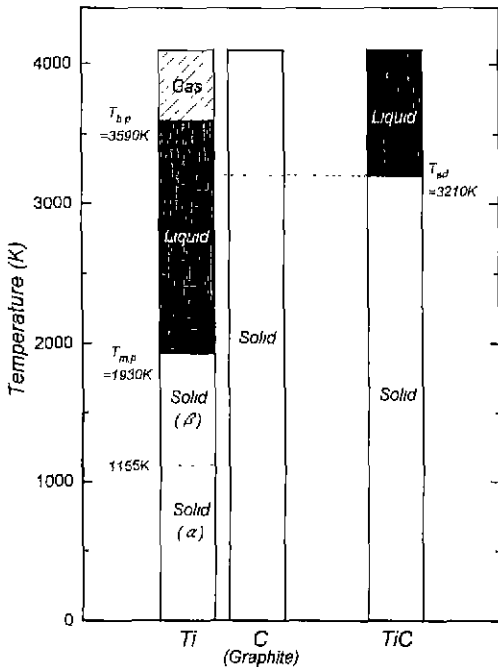


Fig. 6. Phase change data for reactants and product.<sup>3)</sup>

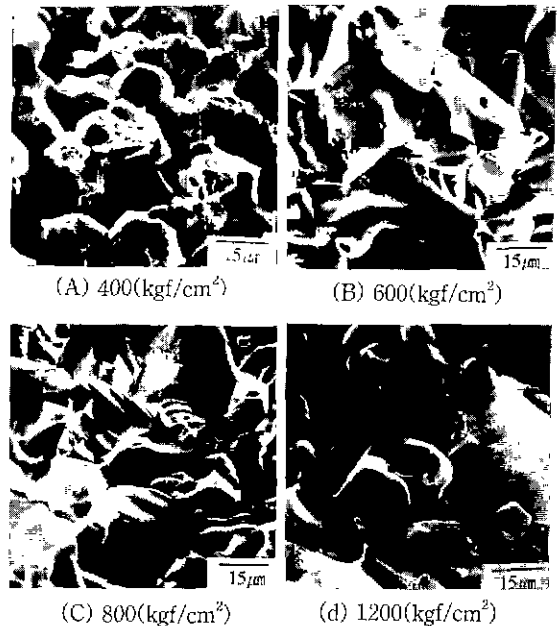


Fig. 7. SEM micrographs of fractured surface of TiC bodies which were produced by the HPCS process with various pressing pressures.

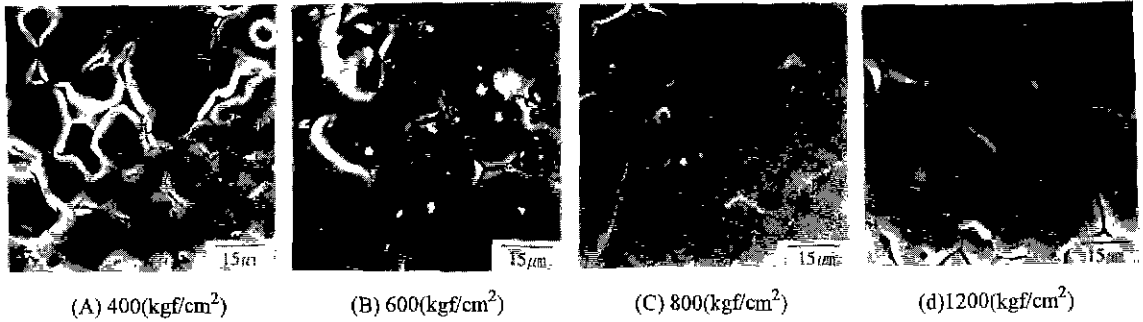


Fig. 8. SEM micrographs of fractured surface of TiC bodies which were produced by the HPCS process with various pressing pressures.

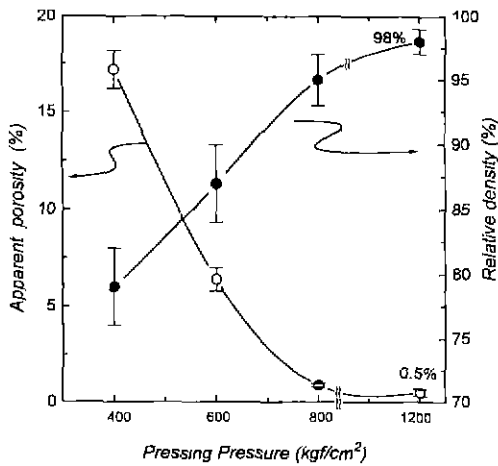


Fig. 9. Changes in apparent porosity of TiC bodies produced by the HPCS process with increasing pressing pressure.

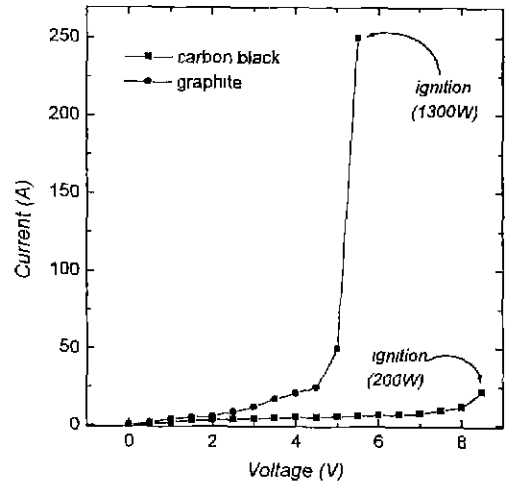


Fig. 10. Variation of current with increasing voltage to ignite mixture of titanium and carbon with different sources.

생성됨을 볼 수 있었다. 즉 압력이 차츰 증가함에 따라 서로 붙어 있던 입자들이 합쳐져서 큰 입자를 형성하는 것을 (B)에서 볼 수 있고 압력이 더욱 증가함에 따라 기공도 감소하여 좀 더 치밀한 (C)와 같은 소결체를 형성함을 볼 수 있다. 이러한 현상은 Fig. 8의 연마면 사진에서 더욱 확실히 볼 수 있다. 이와 같이하여 합성된 소결체의 겉보기 기공율과 상대밀도를 Fig. 9에 나타내었다. 압력이 증가함에 따라 기공율은 감소하고 상대밀도는 증가하는 경향을 나타냈다. 압력이 1200 kgf/cm<sup>2</sup>일 때 겉보기 기공율은 0.5%, 상대밀도는 98%로 비교적 치밀한 소결체를 이루고 있었다.

3.4. 탄소의 종류에 따른 반응성의 변화

탄소의 전기전도성의 차이에 따른 반응성을 알아보기 위해 탄소의 종류를 카본 블랙, 활성탄소 및 흑연으로 바꾸어 C/Ti=1.0의 몰비로 혼합한 후 반응시켜 소결체

를 제조하였다. 카본 블랙과 흑연을 사용하였을 때는 반응이 일어났지만 성형이 힘든 활성탄소는 반응전에 부스러져 반응이 어려웠다. 이때 가해 준 전압과 전류의 변화값을 Fig. 10에 나타내었다. 흑연에 비해 전기전도성이 낮은 카본 블랙을 이용한 시편은 낮은 전력값(8.5V×22A)으로 반응이 시작되었으나 전기전도성이 좋은 흑연의 경우, 카본 블랙을 사용했을 때에 비하여 같은 전압에서 시편에 흐르는 전류는 높은 값을 나타내었고 시편을 반응시킬 때에도 전기저항이 낮기 때문에 저항열을 내기 위하여는 높은 전류(250A)가 필요하였다. 카본 블랙과 흑연을 사용하여 반응시켰을때 사용된 전력값은 각각 200 W와 1300 W이었다.

두 탄소를 사용하여 반응시킨 후 두 시편에 대하여 주사전자현미경을 관찰한 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 흑연을 이용하여 합성 소결한 티타늄의 입체면에 기공들이 잔류하고 있음을 알 수 있으나 카본 블랙을 이

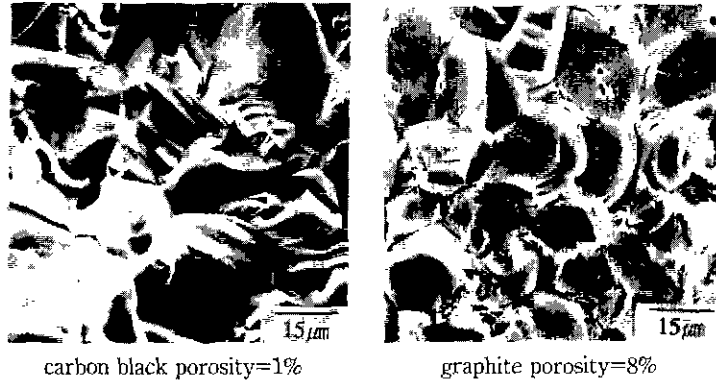


Fig. 11. SEM micrographs of fractured surface of TiC bodies which were produced by the HPCS process from different carbon sources.

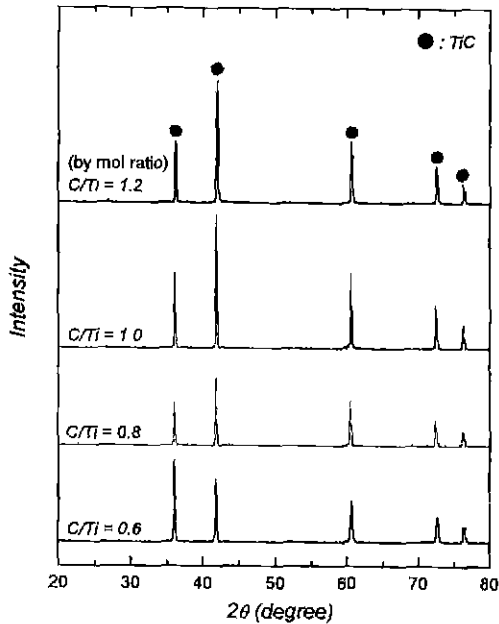


Fig. 12. XRD patterns of TiC bodies produced by the HPCS process from mixtures of carbon and titanium with different molar ratios.

용하여 합성한 소결체는 기공이 없고 좀 더 치밀한 소결체를 이루고 있음을 볼 수 있었다. 이 시편들의 기공율은 카본 블랙을 이용한 시편이 1%, 흑연을 사용한 시편이 8%이었다.

3.5. 탄소함량에 따른 탄화티타늄 소결체의 결정성 및 물성 변화

티타늄에 대한 탄소의 혼합비율(몰비 C/Ti=0.6~1.2)을 변화시켰을때 전체적으로 반응은 잘 되었으나 탄소가 과량인 C/Ti=1.2의 것은 탄소의 함량이 적었던 시편

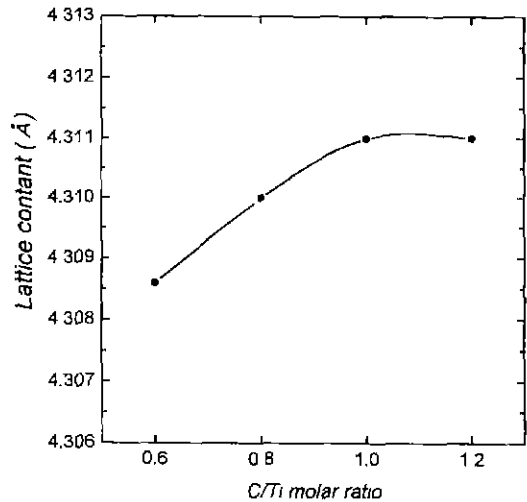


Fig. 13. Lattice constant as a function of C/Ti molar ratio.

보다 금속광택이 감소하였다. 이것은 과량의 탄소가 이 반응에 참여하지 못 할 뿐만 아니라 오히려 반응의 장애요인으로 작용하였기 때문으로 생각된다.

각 시편의 X선 회절 분석결과를 Fig. 12에 나타내었다. 전체적으로 새로운 상의 생성은 없었고 티타늄대 탄소의 몰비가 당량비인 C/Ti=1.0~1.2일 때 결정성이 뛰어난 것을 볼 수 있었다.

또 합성된 TiC 시편의 격자상수값을 Fig. 13에 나타내었다. 탄화티타늄의 격자구조는 면심입방구조(NaCl형)로  $a_0$ 는  $4.329 \pm 0.0011 \text{ \AA}$ <sup>9)</sup>로 알려져있다. 본 연구에서는 탄소의 함량이 적은 0.6일 경우 가장 작은 격자상수값(4.309Å)을 나타내었고 탄소의 함량이 증가함에 따라 격자상수값은 증가하였으며 당량비인 1.0일때 가장 큰 값(4.311Å)을 나타내었는데 탄소의 함량이 과량인 1.2인 경우에도 격자상수는 1.0의 경우와 비슷한 값을 보였

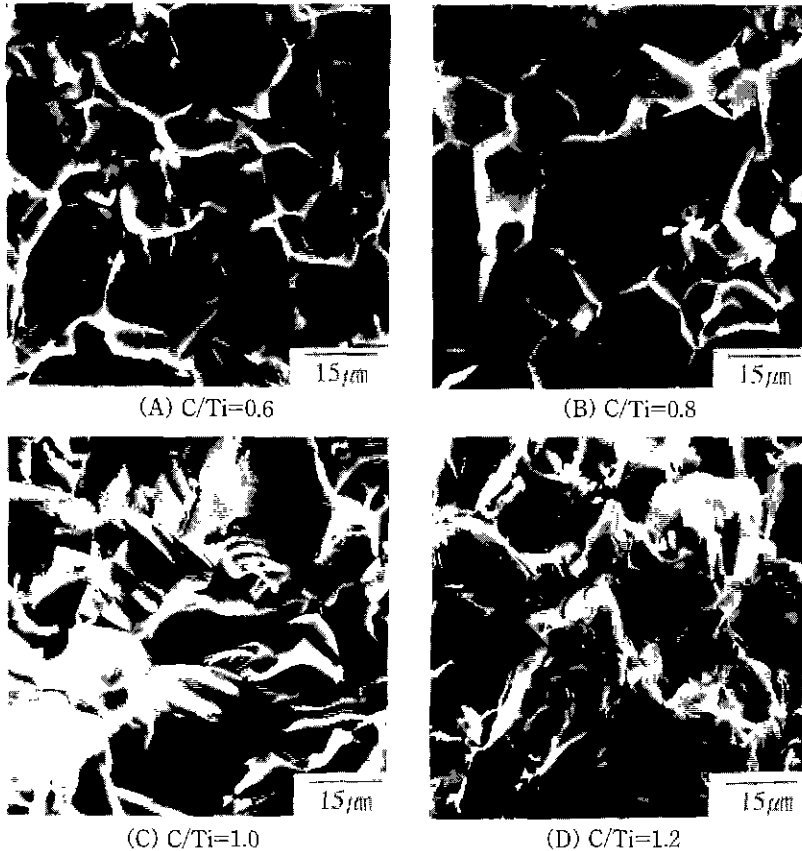


Fig. 14. SEM micrographs of fractured surface of TiC bodies which were produced by the HPCS process from different carbon sources.

다. 이러한 결과는 Yamada 등<sup>4)</sup>이 보고한 결과와 일치된 경향성을 보였다. 이들 시편의 주사전자현미경 분석결과를 Fig. 14에 나타내었다. 사진에서 관찰할 수 있듯이 탄소의 함량이 이론당량비에 가까워질수록 입자의 크기가 점점 커지고 치밀하여졌으나 탄소가 과량인 C/Ti=1.2에서는 치밀화가 되지 않았다. 이와 같이 C/Ti=1.0 일 때 입자가 커졌던 이유는 단위부피당 반응열이 가장 클 뿐 아니라 압력을 가한 상태였으므로 입자의 접촉상태가 좋아서 치밀화가 높게 진행된 것으로 관찰되었다.

티타늄에 대한 탄소의 혼합비율을 변화시켜 만든 탄화 티타늄의 소결체의 결보기 기공율과 상대밀도 값은 Fig. 15에 나타내었다. 티타늄에 대한 탄소의 혼합비가 1:1인 경우, 결보기 기공율이 가장 낮고 상대 밀도값이 가장 높았으며 혼합비율이 이보다 낮거나 높은 경우에도 모두 낮게 나타났다.

### 3.6. 티타늄과 탄소와의 반응기구

Fig. 6 에서 금속 티타늄은 1930 K미만에서는 고체이

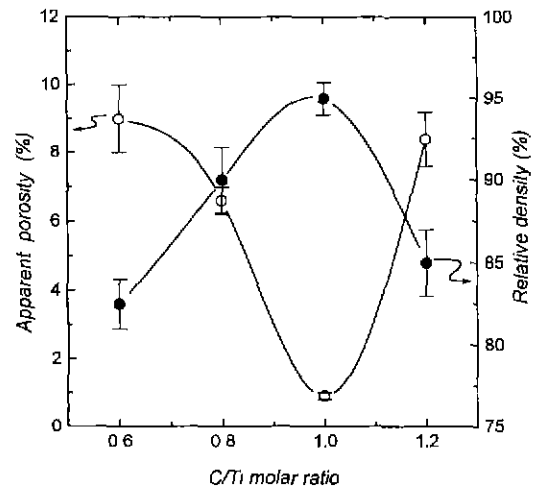


Fig. 15. Changes in apparent porosity and relative density of TiC bodies produced by the HPCS process from mixtures of carbon and titanium with different molar ratios.



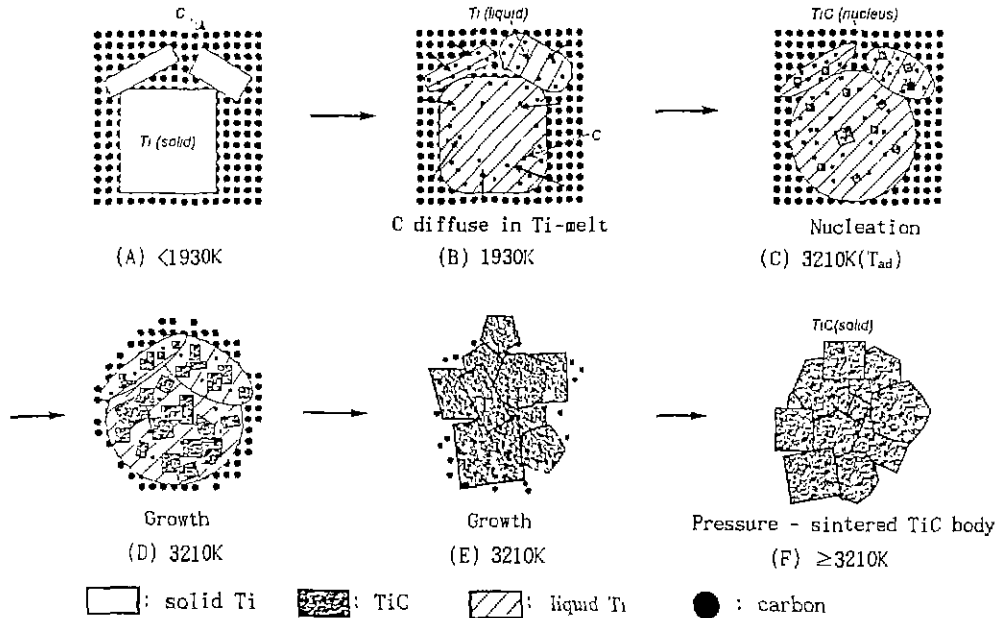


Fig. 16. Proposed mechanism of TiC formation by HPCS.

나 그 이상에는 액체이므로 주위의 입자는 이 액상의 티타늄에 적셔져 확산되고 탄화티타늄의 단일 반응온도 부근(3210 K)에서 두 원소는 반응<sup>3)</sup>하여 탄화티타늄의 핵이 생성되면서 성장되어 석출된다. 이때 탄화티타늄은 액상 티타늄의 표면장력 때문에 Fig. 7과 Fig. 11에서 보인바와 같이 대부분 예리한 모서리가 없이 구형으로 석출된 것으로 생각된다.

이 기구는 종합적으로 그림으로 나타내면 Fig. 16과 같다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 빠른 공정시간, 생성물의 고순도, 공정의 단순화, 에너지 절감등의 장점이 있는 고압연소소결(HPCS)법을 이용하여, 금속 티타늄 분말과 카본블랙 분말등을 출발물질로 한 탄화티타늄(TiC)의 합성과 동시에 치밀한 소결체를 제조하기 위한 최적의 조건을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 티타늄과 탄소의 몰비(C/Ti)를 0.6~1.2까지 변화시킨 경우 C/Ti비가 1.0인 화학양론비 일때 결정성과 치밀성이 가장 우수한 것으로 나타났다.
2. 탄소공급원으로서 전기전도성이 낮고 입자의 크기가 작은 카본블랙을 사용한 경우가 전기전도성이 좋고 입자의 크기가 큰 흑연에 비해 탄화티타늄의 치밀성에 더 효과적이었다.
3. 소결 압력이 높을수록 치밀성이 더 우수한 것으로

나타났다. 따라서 탄소공급원을 카본블랙(C/Ti 비는 1)으로 하고 소결 압력을 1200 kgf/cm<sup>2</sup>까지 증가시켜 제조한 소결체의 상대밀도는 98%(기공율은 0.5%)로 높은 치밀성을 보였다.

4. 탄화티타늄은 용융점이 낮은 티타늄의 용체에서 탄소와의 직접탄화반응에 의해 석출된 것으로 사료되었다.

#### 감사의 글

본 연구는 1993년도 한국과학재단 목적기초연구(과제번호:931-0800-022-2) 연구 지원비에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### RERERENCES

1. ファインセラミックス事典編輯委員會, ファインセラミックス 事典, pp. 631-644, 技報堂出版株式会社, 東京, (1987).
2. Randall M German, "Liquid phase sintering," pp 131-132, New York and London, New York. (1985).
3. 여철현, "비기체 연소 합성(SHS)," pp 119-188. 민음사, 서울, (1991).
4. J. B. Holt and Z. A. Munir "Combustion Synthesis of Titanium Carbide. Theory and Experiment" *J Mater. Sci.*, **21**, 251-259 (1986)
5. C. H. Yo, Y. Miyamoto, Y. Takano, O. Yamada and M. Koizumi, "Fabrication of TiB<sub>2</sub>-TiC Ceramic Composites by High-Pressure Combustion Sintering," *Mat-*

- er. Res. Soc.*, **5**, 119-124 (1989).
6. Z. A. Munir and U. Anselmi-Tamburini, "Self-Propagating Exothermic Reaction : the Synthesis of High-Temperature Materials by Combustion," pp. 277-365, North-Holland Physics Publishing, (1989).
  7. Seiji Adachi, Takahiro Wada and Toshihiro Mihara, "Fabrication of Titanium Carbide Ceramics by High-Pressure-Self-Combustion Sintering of Titanium Powder and Carbon Fiber," *J. Am. Ceram. Soc.*, **72**(5), 805-809 (1989).
  8. A. H. Advani, N. N. Thadhani and T. Kottke, "Dynamic Modelling of Material and Process Parameter Effects on Self-Propagating High-Temperature Synthesis of Titanium Carbide Ceramics," *J Mater. Sci.*, **27**, 3309-3317 (1992).
  9. J. B. Holt, D. D. Kingman and G. M. Bianchini, "Kinetics of the Combustion Synthesis of TiB<sub>2</sub>," *Mat Sci. and Eng.*, **71**, 321-327 (1985).