

SUS316L결합상을 이용한 TiB₂ 서멧합금의 제조와 특성평가

안 동 길

대한중석초경(주) 종합기술연구소

Fabrication and Characterization of TiB₂-based Cermet Using SUS316L Metal Binder

Dong-Gil Ahn

R&D Center, Taegutec Ltd., Taegu 711-860

(2000년 9월 4일 받음, 2000년 11월 13일 최종수정본 받음)

초 록 절삭공구 재료나 내마모 재료와 같은 용도의 TiB₂기 서멧합금을 제조하기 위해서는 소결성과 기계적 특성이 우수한 결합상이 요구된다. 본 연구에서는 경도 및 인성이 뛰어난 새로운 TiB₂기 서멧합금의 결합금속으로 SUS316L을 착안하였다. TiB₂-SUS316L 서멧합금은 상압소결에 의해 1650°C 이상에서 상대 밀도 99% 이상으로 치밀화되었다. 소결중 Fe₂B상이 생성되었지만 10vol%SUS316L의 조성에서 1290MPa까지의 강도를 얻었다. 또한 비커스 경도 18GPa 이상에서 6MPam^{1/2}까지의 파괴인성값을 얻을 수 있었고 이러한 경도 및 인성의 균형은 종래의 서멧합금에 비해 우수한 것이다. 약 800°C 부근에서 고온강도의 급격한 저하는 SUS316L 결합상의 소성변형으로 인한 것이었다.

Abstract For the fabrication of titanium diboride(TiB₂)-based cermet as applications of cutting tools and wear resistant materials, a binder metal with good mechanical properties and sinterability is essential. In this study, SUS316L was chosen for the binder metal to obtain a new TiB₂ cermet with superior hardness and toughness. TiB₂-SUS316L cermets were densified to relative density of more than 99% by pressureless sintering at temperature above 1650°C. The flexural strength was up to 1290MPa at 10vol%SUS316L cermet in spite of the formation of Fe₂B phase during the sintering. The fracture toughness was obtained up to 6MPam^{1/2} with Vickers hardness over 18GPa. These hardness and fracture toughness combinations are better than those of conventional cermet. The high temperature strength remarkably decreased by the plastic deformations of SUS316L binder phase at nearby 800°C.

Key words: TiB₂, SUS316L, cermet, sinterability, mechanical property

1. 서 론

붕화물계 세라믹 중에서도 뛰어난 경질특성을 가진 TiB₂는 고경도(HV 33GPa) 뿐만 아니라 높은 탄성계수와 강도를 가지며, 또한 저비중과 도전성 및 화학적 안정성 등이 우수한 특성을 가진다.^{1,2)} 따라서 TiB₂는 내마모 재료 또는 절삭공구 재료 등 경질재료로의 개발이 주목되어 왔으며, 최근에는 미립 고순도의 TiB₂가 양산되기 시작하여 이를 이용한 신재료의 개발이 더욱 기대되고 있다. 지금까지 TiB₂의 연구는 세라믹 복합재료와 더불어 특히, Co, Ni, Cr, W 등의 주로 철족 천이금속을 결합상으로 이용한 서멧합금의 개발연구가 다수 시도되었다.^{3~9)} 그러나 이러한 TiB₂를 이용한 세라믹 또는 서멧합금의 소결합성에 있어서는 TiB₂의 자기확산계수가 낮고 난소결성을 가지므로 통상의 소결법으로는 치밀화가 어렵다. 특히 Co, Ni, Cr 등의 철족 천이금속을 결합상으로 이용한 서멧합금의 제조에 있어서도 높은 소결온도가 필요하며⁵⁾, 소결과정에 있어서 TiB₂와 이들 결합상이 반응하여 제2의 금속 붕화물(CoB, NiB 등)을 생성하므로³⁾ 기존의 실용합금인 WC-Co계 초경합금이나 TiCN계 서멧합금에 비해 인성이 떨어져 경질재료로서 실

용화가 늦어지고 있다. 그러나 TiB₂기 서멧합금 중에서도 TiB₂-Fe계는 열역학적으로 평형상태에 있으며 고온에 있어서도 상안정성을 가지고 또한 소결에 있어서는 1240°C 부근의 비교적 낮은 온도에서 의이원계 공정반응에 의해 액상이 생성되어 액상소결이 진행된다.⁹⁾ 또한 고순도의 미립 TiB₂를 사용한 본 서멧은 뛰어난 기계적 특성을 가지므로 새로운 경질재료로서의 가능성을 갖고 있다. 반면에 TiB₂-Fe 서멧은 액상소결에 있어서 TiB₂입자와 액상 Fe와의 젖음성이 나쁘기 때문에 치밀화되기까지는 1550°C 이상의 소결온도가 요구되며, 또한 Fe 결합상으로 인해 내식성이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 본 서멧합금의 실용화를 위해서는 소결성의 개선과 내식성 및 기계적 특성의 향상에 대한 연구가 필요하며 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 철계 결합상의 합금화가 유효한 방법이라 판단된다.

본 연구에서는 TiB₂ 서멧합금의 결합상으로써 철계 결합상의 합금화를 검토하여 그 중에서도 특히 소결성과 기계적 특성 및 내식성이 뛰어난 SUS316L을 TiB₂의 새로운 결합상으로 한 TiB₂-SUS316L계 서멧합금을 착안하였다. 본 서멧합금의 각 조성에 있어서 상압소결에 따른 소결성을 검토하였고, 또한 제조된 서멧합금의 액상소결에 의한 조직형

성과 실온 및 고온에서의 기계적 특성을 조사하여 새로운 경질재료로서의 가능성을 검토하였다.

2. 실험 방법

표 1에 본 연구에 사용한 원료분말인 TiB₂ 및 SUS316L 분말의 평균입도와 화학조성을 나타냈다. TiB₂는 순도99.5%, 평균입경 1.3μm의 미립분말을 사용하였으며, 결합금속인 SUS316L은 순도99.5%, 평균입경 2.5μm의 gas atomized 분말을 사용하였다.

TiB₂에 대한 결합상으로써 SUS316L 분말을 0~25vol%의 조성비로 혼합하여 에탄올을 사용한 습식 볼 밀링으로 24시간 밀링하여 균일혼합 및 분쇄한 후 산화방지를 위해 알곤 분위기에서 건조하였다. 건조된 서멧 원료분말을 150MPa의 압력으로 직경 10mm, 두께 10mm의 실린더형 시험편과 굽힘강도 측정용 시험편을 성형한 후, 성형압의 불균일을 완화하기 위하여 200MPa의 압력으로 CIP 처리하였다. 각 성형체는 소결중 산화방지를 위하여 알곤 분위기의 각 소결온도에서 1시간 상압소결하였다. 결합상을 함유하지 않은 TiB₂ 성형체 시험편은 BN을 표면에 바른 후 고온용 glass에 진공봉입하여 1800℃에서 알곤을 압력매체로 하여 200MPa의 압력하에서 2시간 HIP 처리하여 소결체를 제조하였다. 또한 상압소결한 서멧합금에 대해서도 HIP 처리에 따른 강도변화를 조사하기 위하여 1450℃에서 동일압력으로 2시간 HIP 처리하였다. 각 소결온도에서의 제조된 서멧합금의 소결밀도를 조사하였고, 소결과정중 생성된 화합물상을 조사하기 위해 X-ray 회절시험 및 SEM-auger(일본전자, JAMP-7100) 분석을 행하였다. TiB₂ 기 서멧합금은 고경도로 난가공성이지만, 도전성을 갖는 특성을 이용하여 와이어 방전가공으로 시험편을 절단한 후 3μm 및 1μm의 다이아몬드 휠로 연마하여 비커스 경도측정용 시험편을 제조하였다. 소결조직은 연마 후 광학현미경 및 SEM을 이용하여 관찰하였고 소결조직의 정량평가는 미세조직 화상처리장치(A bionik사-excel)를 이용하였다. 경도는 비커스 경도계를 사용하여 측정하였고, 소결체의 인성은 IF법(Indentation Fracture)¹⁰⁾으로 측정하였다. 본 서멧은 비커스 압자의 가압에 의해 시험표면 압흔부에 생긴 균열로부터 아래의 Niihara 및 Evans 식^{11, 12)}을 이용하여 파괴인성값(K_{IC})을 구하였다.

$$K_{IC} = 0.0732 (E/Hv)^0.4 Hva^{1/2} (c/a)^{-3/2}$$

$$K_{IC} = 0.018 (E/Hv)^0.4 Hva^{1/2} (l/a)^{-1/2}$$

여기서, Hv는 비커스 경도값, E는 탄성계수, a는 압흔 대각선의 1/2, c는 압흔 중심부에서 균열선단까지의 길이, l는 압흔 선단에서의 균열길이이다. 소결체의 실온 및 고온 강도는 소결체 시험편을 와이어 방전가공한 후 ASTM 규격으로 연마하여 인스트론 만능시험기(Instron-4204)를 이용하여 3점-굽힘강도를 측정하였다. 고온경도는 고온경도기(Nikon-QM)를 사용하여 진공중 각 온도에서 4.9N의 하중으로 측정하였다. 서멧합금의 탄성계수(E)는 변형-게이지(strain-gauge)법을 이용하여 측정하였다.⁷⁾ 즉, 굽힘

Table 1. Average particle size and chemical composition of TiB₂ and SUS316L powders used in the experiment.

Materials	Average grain size (μm)	Compositions (mass%)
TiB ₂	1.3	30.3%B, 0.22%O, 0.08%C 0.14%N, bal Ti
SUS316L	2.5	18%Cr, 12%Ni, 2.5%Mo 0.8%Si, 0.1%Mn, bal Fe

강도 시험에서 인장응력이 발생하는 시험편 하부면에 변형게이지를 부착하여 굽힘 시험조건에 있어서의 탄성범위내에서 응력-변형의 구배에서 하중과 탄성영역의 변위로부터 탄성계수를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

TiB₂에 대한 SUS316L 결합상의 첨가조성에 따른 소결성을 조사하기 위해 각 소결온도에서 소결 치밀화를 조사하였다. 그림 1은 각 소결온도에서 결합상 조성에 따른 소결 밀도를 나타내었다. SUS316L 결합상량이 5vol% 이상인 경우 소결온도 1650℃ 이상에서 이론 밀도의 99.8% 이상 소결 치밀화가 일어났으며, 결합상 15vol%에서는 더욱 낮은 온도인 1600℃에서 치밀화가 일어나 결합상량이 증가할수록 낮은 소결온도에서 소결 치밀화가 일어났다. 따라서 본 서멧합금은 5vol% 이상의 SUS316L를 첨가할 경우 상압소결에 의해서도 충분히 치밀화 소결이 가능함을 알 수 있었고, 결합상을 첨가하지 않은 TiB₂ 성형체의 소결체는 1650℃에서 소결밀도 70%를 나타내어 치밀화가 거의 진행되지 않았으며, TiB₂는 SUS316L 결합상의 첨가에 따라 소결성이 대폭 향상된 것을 보여준다. Fe 결합상에 대한 연구결과에서¹³⁾ 20vol%Fe를 첨가했을 경우에도 1700℃ 이상에서 소결 치밀화가 일어난 것에 비해 SUS316L 결합상의 소결성은 크게 개선된 것을 의미한다. 이러한 소결성의 차이는 액상소결에 있어서 TiB₂와 결합상인 액상과의 젖음성 차이에 기인한 것으로 검토되었다. 표 2에 TiB₂와 금속 액상과의 접촉각을 TiC와 비교하여 나타내었다.¹⁴⁾

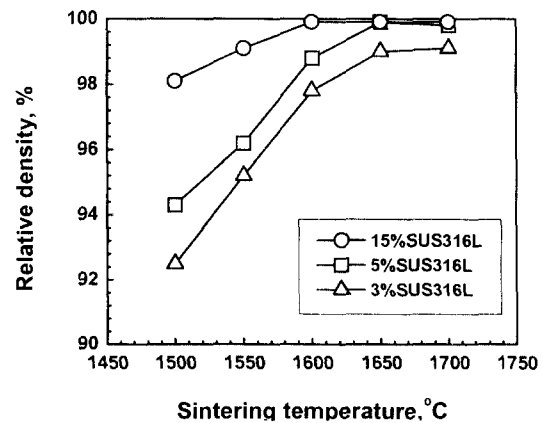


Fig. 1. Variation of relative density with sintering temperature for TiB₂-SUS316L cermets with different SUS316L content.

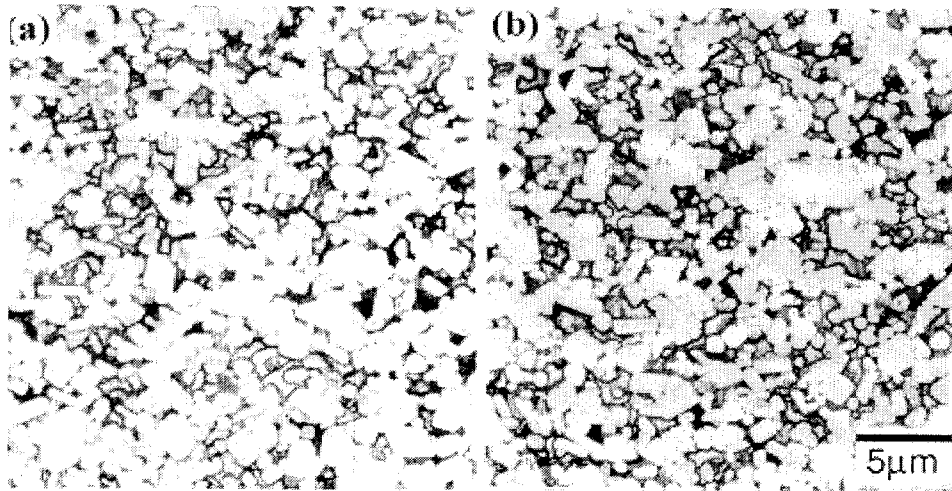


Fig. 2. Optical micrographs of TiB₂-SUS316L cermets with (a) 5vol%SUS316L and (b) 10vol%SUS316L.

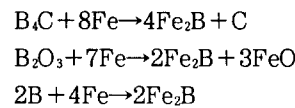
Table 2. Contact angles of TiB₂, TiC and molten metals.¹⁴⁾

Contact angles(TiB ₂ : 1500°C Ar, TiC : 1450°C Vacuum)	
TiB ₂ -Ni : 64°	TiC-Fe : 40°
TiB ₂ -Co : 65°	TiC-Co : 79°
TiB ₂ -Cu : 136°	TiC-Cu : 127°
TiB ₂ -Fe : 92°	TiC-Ni : 30°
TiB ₂ -Fe-10%W : 40°	TiC-Ni-10%W : 14°
TiB ₂ -Fe-10%Mo : 25°	TiC-Ni-10%Mo : 0°

TiB₂는 TiC에 비해 금속액상과의 접촉각이 큰 것을 알 수 있으며, Fe나 Ni액상에 Mo, W 등 이종원소의 첨가하면 접촉각이 크게 낮아져 고상-액상간의 젖음성이 개선되어 소결성이 향상될 수 있음을 의미한다. 이것은 단일 액상에 주로 용점이 높은 이종원소를 첨가할 경우 액상중의 용질원자가 액상의 표면에 흡착 또는 편석되어 단원자층을 형성함으로써 액상의 표면장력을 저하시키게 되므로 액상의 젖음성을 개선시키게 된다.¹⁵⁾ 따라서 Fe에 Cr, Ni, Mo등을 합금화한 SUS316L는 이러한 효과로 인하여 TiB₂의 결합상으로써 액상소결에 있어서 소결 치밀화에 기여하는 것으로 판단된다. 이러한 소결성의 개선은 앞에서 언급한 기준에 시도된 TiB₂기 합금재료에 비해 TiB₂-SUS316L 서멧합금의 응용 가능성을 시사하고 있다.

그림 2는 TiB₂-SUS316L 서멧합금의 광학현미경 조직사진을 나타내었다. 조직사진에서와 같이 본 서멧합금은 구형 또는 각형의 TiB₂ 입자와 그 사이의 결합상으로 구성된 2상 조직으로 보이며 결합상 량이 많을수록 TiB₂ 입자간의 접촉률은 낮은 것으로 관찰되었다. 또한 소결조직으로부터 TiB₂ 결정립의 평균입경은 약 2µm로 비교적 미세한 것으로 나타났다. 여기서 소결조직의 구성상을 상세히 조사하기 위한 X-ray 회절 시험결과를 그림 3에 나타내었다. TiB₂ 소결체는 TiB₂와 약한 강도의 TiB 피크가 관찰되어, 소결 중 TiB₂의 일부가 TiB로 상전이 됨을 알 수 있었다. TiB₂-

SUS316L 계에서는 광학현미경 조직사진과는 달리 TiB₂와 γ(오스테나이트)상 이외에 철계 분화물인 Fe₂B상의 피크가 일부 나타났으며 TiB상은 검출되지 않았다. Fe₂B상은 TiB₂-Fe계에 있어서 소결과정중 생성되기 쉬운 제2 분화물이며 본 서멧합금에서도 생성이 확인되었다. Fe₂B상은 TiB₂ 분말중에 함유되어 있는 B₄C, B₂O₃, free B 등의 불순물 또는 소결중에 TiB₂가 CO 및 CO₂ 가스와 반응하여 생성된 B₂O₃가 소결과정중 Fe와 다음과 같이 반응하여 Fe₂B가 생성된다고 추정된다.¹⁶⁾



열역학적으로 고찰해 보면 위의 반응들은 액상이 출현하기 전의 낮은 온도에서 일어나며 본 연구에서 소결온도별 급냉

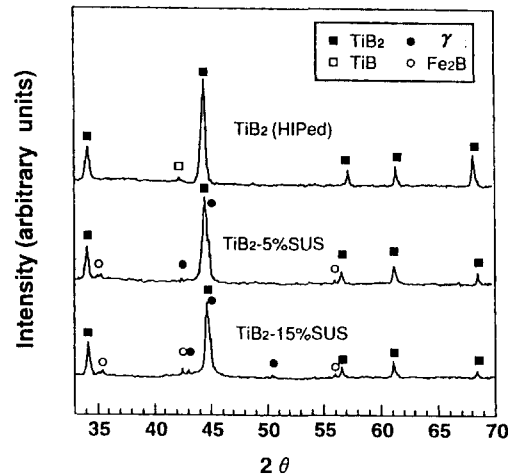


Fig. 3. X-ray diffraction patterns of sintered TiB₂-SUS316L cermets and HIPed TiB₂.

시편의 X-ray 회절시험으로 부터 Fe₂B의 생성반응은 1000℃ 이하에서 생성되는 것으로 확인되었다. Fe₂B는 경도(HV)가 13.4GPa인 철붕화물로 이 상은 TiB₂기 서멧합금에서 유해상으로 서멧합금의 결합상 량을 감소시켜 서멧의 인성을 저하시키므로 소결과정중 이 상의 생성을 억제하기 위해서는 TiB₂분말의 고순도화가 요구된다. 그림 4는 소결조직의 SEM 관찰 및 auger 분석결과를 나타낸 것이다. TiB₂입자(A)에서는 Ti 및 B 외에 O의 약한 auger 피크가 관찰되었는데, 이는 TiB₂입자 표면에 TiO₂가 산화막으로 존재하여 이것이 소결과정중 C 및 CO가스와 반응하여 생성된 Ti₂O₃에 의한 것으로 추정된다. Ti₂O₃상도 결국 원료 분말중의 불순물인 C 또는 O에 기인한 것으로 본 산화물의 생성량이 많을수록 본 서멧합금의 강도를 저하시킬 것으로 사료된다. 한편 Fe₂B상(C)은 TiB₂입자 사이에 존재하며 오스테나이트 기지조직의 결합상(B) 입을 각 성분 원소의 auger 피크로 알 수 있다. 이와 같이 본 서멧의 소결조직은 전전조직인 TiB₂ 경질상과 결합상외에도 소결반응에 의한 소량의 TiB나 Fe₂B가 생성되어 TiB₂-Fe 계와 유사한 조직을¹³⁾ 갖는 것으로 나타났다. 본 서멧에 있어서도 경질상과 결합상의 2상조직이 요구므로 소결공정에 있어서 열역학적인 검토에 의해 이러한 반응상의 생성억제에 대한 연구도 차후 필요하다고 생각된다.

그림 5는 본 서멧합금의 각 조성별 소결체의 강도와 HIP 처리후의 강도를 나타내었다. 소결체의 강도는 10vol%까지 SUS316L 결합상 량이 증가할수록 강도가 증가하지만 그 이상에서는 강도가 거의 일정한 경향을 나타내었다. 특히 10vol%SUS316L의 조성에서 1200MPa을 넘는 우수한 강도를 나타내었으며, HIP 처리 후에는 전 조성의 합금

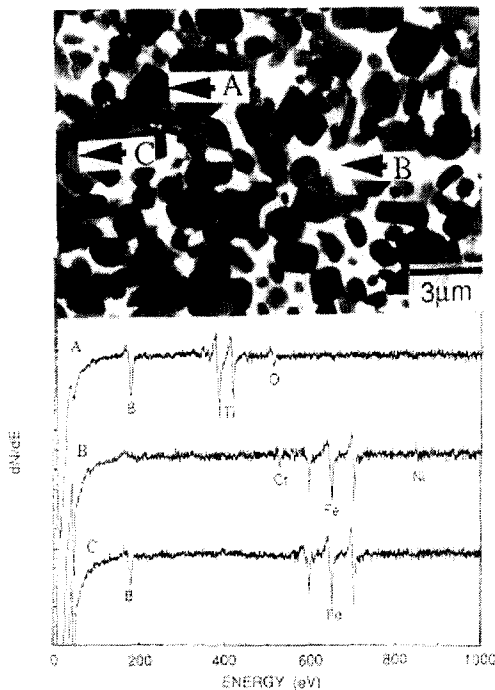


Fig. 4. SEM micrograph and auger analysis of TiB₂-15vol% SUS316L cermets.

에서 강도가 약 200MPa 정도 향상되었다. 이는 소결후 HIP 처리에 의해 잔류 미소기공이 제거됨에 따라 강도가 향상된 것으로 사료된다. 한편 HIP 소결한 TiB₂ 소결체의 강도가 약 425MPa로 나타났으며 이에 비하면 SUS316L 결합상을 첨가함으로써 비약적인 강도개선이 이루어진 것을 알 수 있다. 이것은 SUS316L가 지금까지 TiB₂기 서멧 개발에서 시도된 종래의 Co, Ni, Fe, Fe-Mo 등의 결합상에 비해서 강도향상에 크게 기여한 것으로 볼 수 있다. 종래의 TiB₂기 서멧합금의 강도가 1000MPa을 넘지 못하는데 비하면^{3,5,8)} TiB₂-SUS316L 서멧합금이 가지는 강도는 실용 서멧합금인 TiCN기 서멧합금에 필적하는 값으로 고강도 서멧재료로서의 가능성을 시사하고 있다. 본 서멧이 소결조직중 유해상인 Fe₂B상 존재함에도 불구하고 이러한 고강도를 나타내는 것은 종래에 비해 미립, 고순도의 TiB₂ 원료분말을 사용함으로써 소결조직이 미세화되었고 SUS316L 사용에 의한 결합상의 강도개선에 기인한 것이라 판단된다.

그림 6은 본 서멧의 각 조성에 따른 경도와 파괴인성값의 관계를 나타내었다. WC-Co초경합금이나 서멧합금과 같은 소결 경질합금의 경도는 주로 경질상의 체적률과 경질상의 경도에 의해 크게 좌우되며¹⁷⁾ 인성은 결합상 량에 크게 의존하게 되므로 서로 상반되는 성질을 가진다. 그러나 서멧과 같은 경질합금에서 경도와 인성의 균형은 재료의 사용용

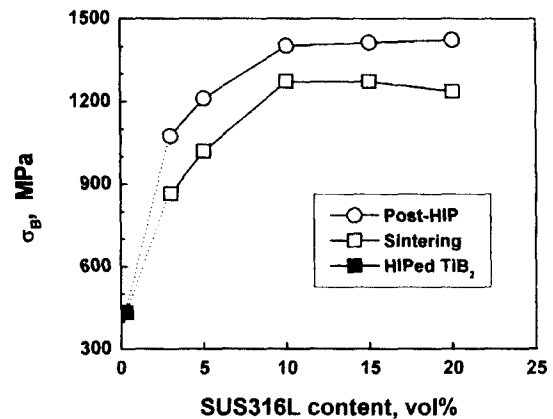


Fig. 5. Variation of flexural strength with different SUS316L content for TiB₂-SUS316L cermets by pressureless sintering and post HIP treatment.

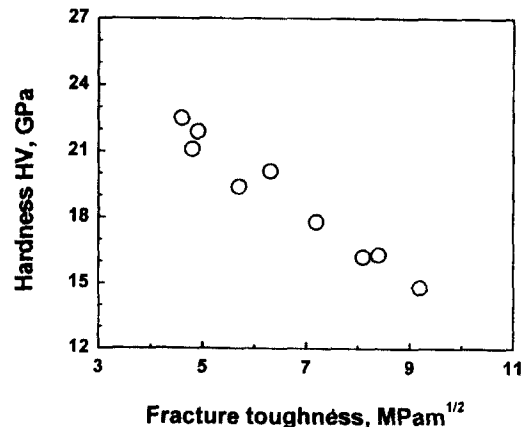


Fig. 6. Vickers hardness vs. fracture toughness for TiB₂-SUS316L cermets with different SUS316L content.

도에 있어서 가장 중요한 특성이라 할 수 있다. 본 서멧에서도 경도와 파괴인성값은 거의 직선적으로 반비례하는 경향을 나타내지만, 특히 비커스 경도 18GPa 이상의 고경도 서멧합금에서도 4~6MPa·m^{1/2}의 비교적 우수한 인성을 나타내는 것을 알 수 있다. 이것은 종래의 다른 붕화물계 서멧합금이나 타 서멧합금에 비해 경도와 인성의 균형이 우수하며 따라서 뛰어난 경질특성이 기대된다고 할 수 있다. 한편 본 서멧의 탄성계수는 5vol%SUS316L 조성에서 가장 높은 498GPa를 나타내었고 결합상 량이 증가함에 따라 떨어지는 경향을 나타내어 20vol%SUS316L 조성에서는 455GPa를 나타내었다. 따라서 본 서멧의 탄성계수는 높은 탄성계수를 가진 TiB₂(540GPa)의 체적률에 비례하는 것을 알 수 있다. 이러한 탄성계수값은 실용 서멧합금인 TiCN기 서멧(약 430GPa)¹⁸⁾보다 높은 값으로 우수한 탄성계수는 구조용 재료의 응용에는 큰 잇점을 가지며 강도설계에 중요한 물성으로 평가된다. 이러한 탄성계수는 서멧 소결체의 밀도에 크게 의존하여 기공률이 높을수록 크게 떨어지므로 소결공정에 있어서 치밀화 소결이 중요하다고 할 수 있다. 이상과 같이 본 서멧의 소결성과 실온 기계적 성질을 종합하면, 본 서멧재료에 있어서 SUS316L은 TiB₂기 서멧합금의 결합상으로서 소결성의 개선에 크게 기여한다고 볼 수 있다. 또한 소결조직은 WC-Co 초경합금과 유사한 2상의 소결조직을 가지며 일부 Fe₂B상이 생성됨에도 불구하고 우수한 기계적 특성을 가지는 것은 SUS316L가 기존의 타 결합상에 비해 우수한 기계적 특성을 가지며 이러한 결합상으로서의 역할을 충분히 발휘하기 때문으로 평가된다.

TiB₂기 서멧합금은 고경도 및 고강도를 가지므로 내마모 재료나 절삭공구 재료로의 응용을 기대할 수 있다. 따라서 이러한 분야에 사용되는 경질재료는 실온 뿐만 아니라 고온에 있어서의 우수한 기계적 특성이 요구되는 경우가 많으므로 본 서멧도 고온강도 및 경도의 평가가 필요하다. 그림 7은 TiB₂-SUS316L 서멧합금의 고온에서의 강도변화를 나타내었다. SUS316L 결합상 량이 많을수록 고온에서의 강도 저하폭은 크게 나타났으며 특히 800℃ 부근에서 고온강도는 크게 떨어졌다. 또한 600℃ 이하까지는 실온강도와 같이 결합상 량이 높을수록 높은 강도를 나타내었지만, 그 이상의 고온에서는 결합상 량에 따른 강도차이는 점차 줄어드는 경향을 나타내었다. 1000℃에서는 결합상 량에 관계없이 모두 일정한 범위의 강도를 보였으나 오히려 결합상 량이 작은 5vol%SUS316L가 10vol%, 15vol%SUS316L 서멧에 비해 다소 높은 강도를 나타내었다. 이것으로 볼 때 고온강도의 온도 의존성은 결합상의 체적률이 높을수록 크고 또한 1000℃에서는 TiB₂의 체적률이 높을수록 고온강도가 우수한 것을 나타낸다. 고온에 있어서 TiB₂의 강도는 1000℃ 부근까지 큰 강도저하가 없는 것으로 볼 때 본 서멧의 이와 같은 고온강도 저하는 주로 SUS316L의 고온변형에 의한 것으로 추측된다. SUS316L는 다른 스테인레스 재종에 비해 고온강도가 우수하여 약 600℃ 부근까지는 우수한 강도를 보이다가 그 이상의 온도에서 크게 떨어지는 것으로 볼 때 본 서멧의 고온강도도 이와 유사한 경향을 나타

낸다고 볼 수 있다. 따라서 본 서멧합금의 고온강도는 결합상인 SUS316L에 의해 크게 좌우된다는 것을 시사한다.

그림 8은 각 시험온도에 있어서 TiB₂-15vol%SUS316L의 고온강도 시험편의 파단면을 나타낸 것이다. 각 파단면을 관찰해 보면 실온 및 600℃까지는 입내파괴의 양상을 나타내며 시험편은 하중 부가시 탄성변형에 의한 파괴가 일어났다. 그러나 800℃ 이상에서 부터는 결합상의 소성변형이 일어나기 시작했으며 특히 1000℃에서의 파면은 결합상만의 심한 소성변형에 의해 파괴가 일어난 것을 나타내고 있다. 이와 같은 파단면의 조직차이는 각 온도에서 고온강도의 변화양상과 잘 일치하고 있다. 따라서 본 서멧은 800℃ 이상의 온도에서 결합상의 소성변형이 일어나기 시작하여 고온강도가 급격히 떨어지는 것을 시사하며 고온강도는 주로 결합상의 고온강도에 크게 의존하는 것을 알 수 있다. 따라서 TiB₂-Fe 또는 철합금계 서멧에 있어서 고온강도를 개선하기 위해서는 결합상을 강화해야 함을 확인시켜 주었다.

그림 9는 본 서멧합금의 고온경도를 나타내었다. 결합상 량에 관계없이 고온경도는 온도에 비례하여 크게 떨어졌고 각 결합상 량에 따라 고온경도의 저하폭은 온도에 따라서 큰 변화가 없었으나 800℃에서는 경도차이의 폭이 작아지는 경향을 나타내었다. TiB₂는 붕화물계 세라믹 중에서도 가장 높은 경도(HV 33GPa)를 가지므로 800℃ 부근에 있어서 본 서멧의 고온경도는 고온강도와 같이 주로 결합상의 고온경도에 의해 크게 좌우되는 것으로 판단된다.

이와 같은 TiB₂-SUS316L계 서멧합금의 고온 기계적 특성을 기존의 실용 TiCN기 서멧합금^{19, 20)}과 비교하면, 고온강도의 경우 다소 떨어지지만 고온경도는 유사한 수준을 갖는다. 따라서 본 서멧합금의 실온 및 고온에 있어서의 기계적 특성을 종합해 볼 때 절삭공구 재료 또는 내마모 재료 등 경질재료로의 응용 가능성을 가지며, 지속적인 결합상의 개량연구를 통해 더욱 우수한 경질특성을 가진 TiB₂기 서멧합금의 개발이 기대된다.

4. 결 론

TiB₂기 서멧의 결합상으로 SUS316L을 사용하여 각 조

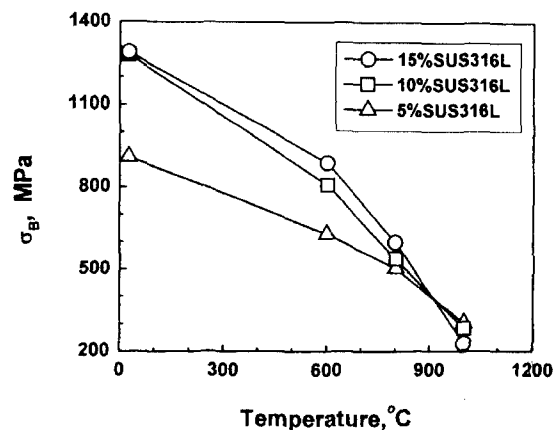


Fig. 7. Variation of flexural strength with temperature for TiB₂-SUS316L cermets with different SUS316L content.

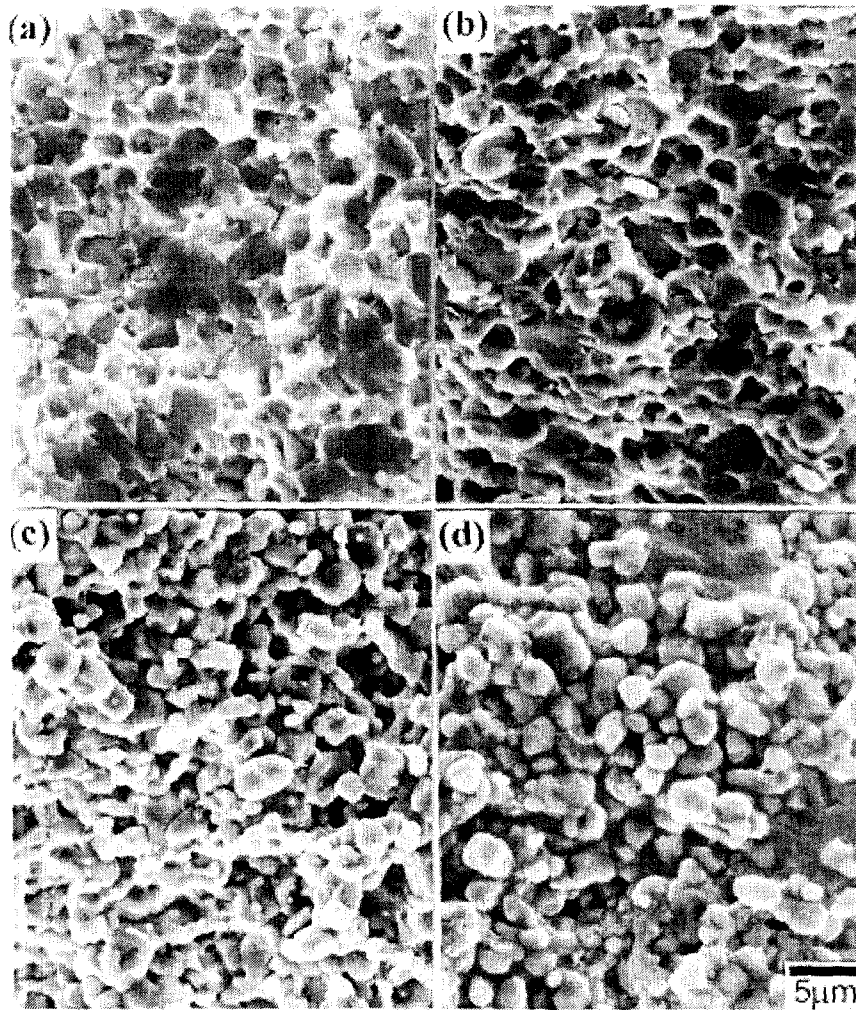


Fig. 8. SEM micrographs of fracture surface of TiB₂-15vol%SUS316L cermets after flexural strength test at (a) 25 °C, (b) 600 °C, (c) 800 °C and (d) 1000 °C.

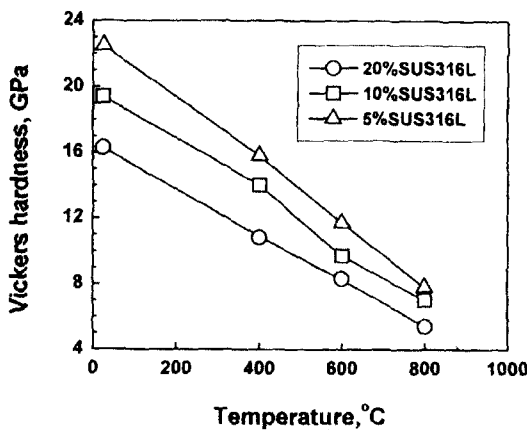


Fig. 9. Variation of Vickers hardness with temperature for TiB₂-SUS316L cermets with different SUS316L content.

성에 따른 소결성과 소결조직을 조사하고 실온 및 고온에 있어서의 기계적 특성을 검토하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1) 5vol% 이상의 SUS316L 결합상의 첨가로 상압소결에서 1600 °C 부근의 소결온도에서 소결 치밀화가 이루어

졌으며 결합상 량이 증가할수록 소결성이 개선되었다.

2) 소결조직에 있어서 경질상 TiB₂와 결합상 이외에 제 2 분화물인 Fe₂B상이 소결과정에서 소량 생성되었음이 확인되었다.

3) 본 서멧합금의 강도는 10vol%SUS316L 결합상에서 1200MPa를 넘었고, HIP 처리에 의해 강도는 약 200MPa 증가하였으며 이러한 강도는 기존의 TiB₂기 서멧합금에 비해 크게 개선된 것으로 평가되었다. 또한 비커스 경도 18GPa 이상의 고경도에서도 4~6MPa · m^{1/2}의 우수한 파괴인성값을 나타내었다.

4) 고온강도는 800 °C에서 크게 떨어졌는데 이것은 고온도에서 부터 SUS316L 결합상의 소성변형이 일어나기 때문이며 본 서멧의 고온강도는 결합상의 고온강도에 의해 크게 좌우되었다. 고온경도는 결합상 량이 적을수록 우수하였고 800 °C에서는 결합상 량에 따른 고온경도의 차이가 크게 줄어들었다.

이상과 같은 TiB₂-SUS316L계 서멧합금의 소결성과 실온 및 고온에서의 기계적 특성을 검토한 결과 새로운 경질 재료로서의 응용 가능성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구에 많은 유익한 논의와 지원을 해주신 일본 동북 대학 공학부 Watanabe Ryuzo 교수께 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. H.R. Baumgartner and R.A. Steiger, *J. Am. Ceram. Soc.*, **67**, 207 (1984).
2. S. Baik and P.F. Becher, *J. Am. Ceram. Soc.*, **70**, 527 (1987).
3. T. Watanabe, *J. Am. Ceram. Soc. Bull.*, **60**, 176 (1977).
4. D.G. Ahn, A. Kawasaki and R. Watanabe, *Materials Trans. JIM*, **37**, 1078 (1996).
5. S.S. Ordanyan, B.Y. Yuriditskii and I.B. Panteieev, *Pdroshkovaya Metallurgiya*, **94**, 235 (1982).
6. T. Graziani, A. Belldsi and D.D. Fabbriche, *Int. J. Refrac. Hard Met.*, **11**, 105 (1992).
7. C.B. Finch and V.I. Tennery, *J. Am. Ceram. Soc. Bull.*, **65**, 100 (1982).
8. I. Smid and E. Kny, *Int. J. Refrac. Hard Met.*, **7**, 135 (1988).
9. A.K. Shurin and V.E. Panarin, *Akad. Nauk. SSSR*, **5**, 235 (1974).
10. 西田侯彦, 安田榮一, セラミックスの力學的特性評價, 日刊工業新聞社, 東京, **82** (1986).
11. K. Niihara, R. Morena and D.P.H. Hasselman, *J. Mater. Sic. Letter*, **1**, 13 (1982).
12. A.G. Evans and E.A. Charles, *J. Am. Ceram. Soc.*, **59**, 371 (1976).
13. 安東吉, 崔德淳, 川崎 亮, 渡辺 龍三, 粉体および粉末冶金, **44**, 694 (1997).
14. B. Yuriditsky : *Int. J. Refrac. Hard Met.*, **9**, 32 (1990).
15. S. Glasstone, *Thermodynamics for Chemist*, Van Nostland, **244** (1947).
16. Th. Jungling, L.S. Sigl, R. Oberacker, F. Thummler and K.A. Schwetz, *Proceed. 13th. Int. Planse Seminar.*, **2**, 43 (1993).
17. J. Gurland, *Mater. Sci. Eng.*, **40**, 59 (1979).
18. 鈴木壽, “超硬合金と焼結硬質材料-基礎と應用-”, 丸善, 東京, **365** (1986).
19. 鈴木壽, 林宏璽, 久保裕, 粉体および粉末冶金, **27**, 266 (1980).
20. H. Yoshimura, T. Sugizawa and H. Doi, *Plansee Seminar*, **11**, (1985).