

유리질 결합 CBN공구 제조시 기공량 변화

양진

쌍용중앙연구소
(1998년 6월 9일 접수)

The Change of Porosity During the Fabrication of Vitreous Bonded CBN Tools

Jin Yang

SsangYong Research Center
(Received June 9, 1998)

요약

유리질 결합 CBN공구의 제조시 각종 공정조건 즉 소결온도, 지석의 크기 및 양 등에 따른 기공량의 변화를 관찰하였다. 유리질 결합제만을 소결시 약 950°C에서 가장 치밀하게 되었으며 그 이상의 온도에서는 총기공량이 다소 증가하였다. 이에 반해 지석과 결합제를 혼합, 소결하였을 때는 유리질 결합제만을 소결한 경우와 유사하게 900°C 내지 950°C의 범위에서 가장 치밀하게 되었으나 그보다 높은 온도에서는 총기공량이 점차적으로 크게 증가함을 확인하였다. 또한 지석의 양은 같게 하고 그 크기를 보다 작은 지석으로 대체하여 소결한 결과는 전 온도영역에 걸쳐 총기공량이 증가함을 나타내었으며, 지석의 양을 증가시킨 경우에는 전 온도영역에서 폐기공량이 감소하고 개기공량은 증가하였음을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In the manufacturing of vitreous bonded CBN tool, the porosity change associated with various processing conditions, i.e. the sintering temperature and the size and the amount of abrasive grits was observed. In the case of sintering of vitreous bond material only, the specimen density reached the maximum at 950°C, and then, the total porosity was increased slightly with the temperature above 950°C. In the sintering of abrasive grits and the vitreous bond material together, a marked increase in the total porosity was found with the temperature above 950°C. Reducing the grit size at the constant volume fraction of abrasive grits showed an increase in the total porosity at whole sintering temperature. On the contrary, it was observed that increasing the volume fraction of abrasive grits with a same size showed the increased open porosity simultaneously with decreased closed porosity at whole sintering temperature.

Key words : Porosity, CBN, Vitreous bond, Grinding wheel, Sintering

1. 서론

유리질 결합 CBN 공구는 높은 경도 및 내마모성을 갖는 CBN(Cubic Boron Nitride) 지석(abrasive grit)을 유리질 결합제(vitreous bond)와 혼합하여 소결함으로써 제조되는 공구로서 정밀연삭에 있어 필수적인 소재이다. 지석으로 사용되는 CBN의 경우 상온에서 다이아몬드 다음 가는 우수한 경도를 가지고 있으며 실제 연삭이 진행되는 고온으로 갈수록 경도의 감소가 적어 800°C 이상에서는 오히려 CBN의 경도가 다이아몬드에 비해 우수하다고 알려져 있다.¹⁾ 또한 다이아몬드의 경우

450°C 이상에서 Fe, Co, Ni, Ta, Ti, Mn, Cr, W 그리고 Pt 등과 반응하여 소위 화학적 마모를 발생시키기 때문에 이러한 금속의 가공에 적합하지 않은 것으로 알려져 있다.²⁾ 아울러 다이아몬드는 약 650°C 이상에서 산화반응이 매우 활발하게 일어나 연삭시 어려움이 뒤따르고 또한 그 제조에 있어서도 고온소결이 어려워 다양한 유리질 결합제를 사용할 수 없는 단점이 있다.²⁾

반면에 CBN은 알루미늄과 1050°C에서 그리고 알루미늄을 함유한 Fe 및 Ni합금과는 1250~1300°C에서 반응한다고 알려져 있고³⁾ 그 밖에 물이나 산소와도 화학반응을 일으킨다고 알려져 있으나, 후자의 반응 역시 비

교적 고온인 900°C 이상에서 발생하는 것으로 일반적으로 다이아몬드에 비해 열적, 화학적 안정성이 우수하다고 말할 수 있다.^{2,5)}

이러한 우수한 성질을 갖는 CBN은 레진이나 금속 또는 유리를 결합제로 하여 제조되는데 이중 특히 유리를 결합제로 이용할 경우 다량의 기공이 미세구조내에 존재하게 된다. 이러한 기공들은 연삭시 생성되는 chip을 포획하여 제거하는 chip pocket의 역할을 하여 공구에 걸리는 과도한 하중을 감소시켜줄 뿐만 아니라 마찰열을 줄여 주는 역할을 한다. 또한 기공들은 냉각수의 원활한 분산을 촉진시키기도 하고 또한 연삭시 지석입자의 자발적인 돌출(self-sharpening)을 유도함으로써 드레싱(dressing)의 필요성을 경감시키는 등 연삭제의 구조 및 연삭성능에 커다란 영향을 미치고 있다.^{5,6)}

이와 같이 유리질 결합 CBN 공구에서 기공률의 조절은 매우 중요하다 할 수 있는데 유리질 결합체 자체의 기공률은 각종 소결조건 중 특히 소결온도에 의해 가장 큰 영향을 받는 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 따라서 본 연구에서는 유리질 결합체와 CBN지석을 혼합, 소결하여 실제 공구를 제조할 때 소결온도에 따른 기공률의 변화를 중점적으로 알아보려고 하였다. 특히 CBN지석은 소결시 결합체의 수분이나 산소 등과 화학반응을 일으키는 것으로 알려져 있으므로^{2,5)} 공구에서의 기공률은 차밀화과정만이 아닌 화학반응에 의해 생성된 가스에 의해서도 영향을 받을 것으로 추측된다. 아울러 본 연구에서는 소결시간 및 지석입자의 크기와 양 등을 변화시켰을 때의 기공률 변화도 같이 관찰하고자 하였다.

2. 실험방법

Table 1은 본 실험에서 사용한 유리질 결합체 분말(Cookson Co.)의 화학조성과 물성을 나타낸 것이다. 실험에서는 이 유리질 결합체와 평균 입자크기가 140 μm(140/170 mesh) 또는 60 μm(325/400 mesh)인 CBN 지석분말(General Electric co. Borazon Type D)을 사용하였으며 이들을 결합체 대 지석의 부피비가

Table 1. Chemical Composition and Physical Characteristics of the Vitreous Bond Used

Chemical composition(%)		Physical characteristics	
SiO ₂	38%	Specific gravity	3.17
Al ₂ O ₃	30%		
B ₂ O ₃	25%	Thermal expansion coeff.	8.8×10 ⁻⁶ /°C
Na ₂ O	5%		
CaO	2%	Softening point	630°C

1.64 또는 0.54가 되게 칭량한 후 메틸알콜을 혼합매체로 하여 유리봉으로 혼합하였다. 혼합 후 건조된 분말은 직경 1cm의 원통형 금형을 사용하여 1 ton/cm²의 압력으로 가압 성형하였는데, 이때 한 시편당 분말의 양은 1.7g으로 하였다. 소결은 650~1200°C 범위에서 행하였으며 소결온도에서의 유지시간은 0 h 또는 3 h로 하였고 승온속도는 4°C/min으로 하였다. 또한 소결이 완료된 후에는 자동적으로 전원이 차단되도록 하여 상온까지 냉각시켰다.

소결이 끝난 시편은 건조무게(W_d)와 현수무게(W_{subp}) 그리고 포수무게(W_{wt})를 각각 측정하여 총기공률(P), 개기공률(P_o) 그리고 폐기공률(P_c)의 부피분율을 계산하였는데 이때 유리질 결합체의 이론밀도로는 회사측이 제시한 3.17 g/cm³를, 지석의 이론밀도로는 3.48 g/cm³를 사용하였다. 또한 기공률은 3개 이상의 평균값을 취하였으며 주사전자현미경을 이용하여 그 파단면을 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 소결온도 및 시간의 영향

Fig. 1은 우선 유리질 결합체만을 소결하였을 때의 기공률 변화를 각 소결온도에 대해 나타낸 것으로 이때 소결온도에서의 유지시간은 0 h, 승온속도는 4°C/min으로 일정하게 유지하였다. 그림에서 실선은 총기공률의 변화를, 점선은 폐기공률의 변화를 나타내며 따라서 두 값의 차이는 개기공률을 나타낸다.

그림으로부터 유리질 결합체만을 소결하는 경우 소결

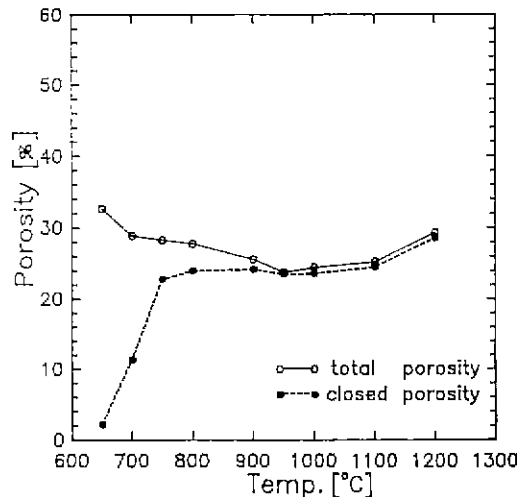


Fig. 1. Porosity vs. sintering temperature for the vitreous bond material.

온도가 높아짐에 따라 치밀화가 진행되어 950°C까지는 개기공이 거의 소멸되면서 총기공량이 점차적으로 감소함을 알 수 있다. 그 결과 950°C에서 총기공량은 약 24%를 나타내었으며 이는 대부분 폐기공이었다. 한편 950°C 이상에서는 일반적인 치밀화과정과는 달리 총기공량 및 폐기공량이 점차적으로 증가하였는데, 이는 유리질 결합제 자체의 가스 방출이나 폐기공의 합체(coalescence)⁹⁾ 때문인 것으로 추정된다. 이러한 가스방출은 장석 및 점토 그리고 illite(수화운모)를 함유하고 있는 결합제의 경우 sponge hematite(적철광)에 흡착되어 있는 가스 때문이라는 보고⁶⁾가 있으나 그 자세한 기구는 알려져 있지 않다. 본 실험에서 별도의 실험으로 유리질 결합제를 성형하지 않은 분말상태로 열처리하여 결과를 확인하였을 때 무게감량(1200°C, 3 h 처리시 4.4%)이 있음을 확인할 수 있었으며 이로부터 결합제 자체의 가스방출이 존재함을 알 수 있었다. 따라서 950°C 이상에서의 기공량의 증가는 이러한 가스방출 또는 폐기공의 합체에 기인하는 것으로 추정된다.

Fig. 2는 유리질 결합제에 140/170 mesh(평균입경 140 μm)의 크기를 갖는 지석을 첨가하여 소결하였을 때의 기공량 변화를 나타낸 것으로 이때 유리질 결합제와 지석의 부피비(V_p/V_s)는 1.64로, 그리고 소결시간과 승온 속도는 앞서의 실험과 동일하게 0 h, 4°C/min으로 하였다. 유리질 결합제만을 소결한 경우와 유사하게 이 때에도 900°C 내지 950°C에서 가장 치밀화가 이루어졌으나, 950°C 이하에서는 결합제만을 소결했을 때보다 총기공량이 다소 감소하였으며 그 감소량은 700°C, 800°C, 900°C 그리고 950°C에서 각각 1.1%, 1.0%, 4.3% 그리고 2.3%이었다. 또한 그보다 높은 온도에서는 결합제만을 소결한 경우에 비해 총기공량이 온도에 따라 점차적으로 크게 증가하여 그 증가량은 1000°C, 1100°C 그리고 1200°C에서 각각 0.8%, 15.8% 그리고 26.6%를 나타내었다.

우선 950°C 이하에서의 소결거동을 살펴 보면 유리질 결합제만을 소결한 경우에 비해 지석을 첨가한 경우 주로 폐기공량의 감소에 의하여 총기공량이 감소하였음을 알 수 있으며, 이때 폐기공량의 감소량은 700°C, 800°C, 900°C 그리고 950°C에서 각각 4.1%, 15.2%, 5.5% 그리고 3.9%이었다. 이와 같이 지석의 첨가시 폐기공량이 감소한 것은 지석에 대한 결합제의 불완전한 적침 등의 원인으로 말미암아 개기공이 보다 천천히 폐기공화되기 때문으로 판단된다. 한편 1000°C 이상의 온도에서는 결합제만을 소결한 경우에 비해 폐기공량의 증가로 말미암아 총기공량이 크게 증가하였는데 이는 CBN입자의 반응으로 가스가 생성되었기 때문으로 판단되며 또한 그 반응은 온도가 높아짐에 따라 매우 활발해짐을 알 수 있다. 본 실험온도 범위내에서 발생할 수 있는 CBN의

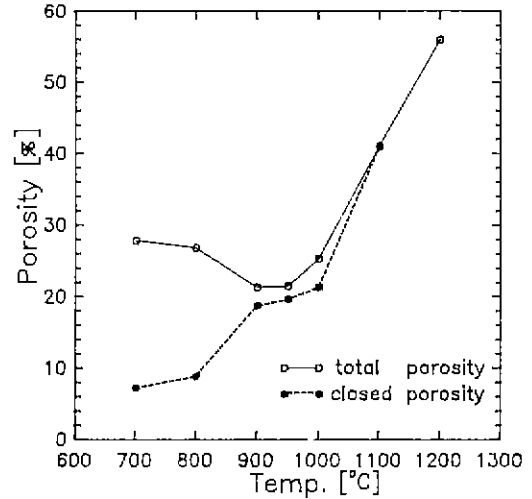
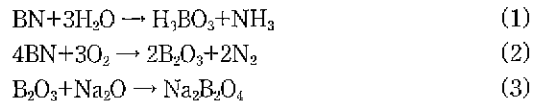


Fig. 2. Porosity vs. sintering temperature for vitreous bonded CBN specimens (V_p/V_s : 1.64, grit size: 140/170 mesh, sintering time: 0 h).

반응은 다음과 같다.



위의 반응중 (1)의 반응은 CBN이 유리질 결합제내의 결정수 등과 반응하여 NH_3 가스를 생성하는 경우로 900°C 이상에서 발생한다고 보고되어 있으며, (2)의 반응은 지석이 산소와 반응하여 boric oxide(B_2O_3)막을 형성하면서 N_2 가스를 발생하는 경우로 980°C 이상에서 발생하는 것으로 알려져 있다.^{2,5)} 이때 생성된 boric oxide막은 CBN지석에 보호막을 형성하여 더 이상의 산화 반응을 방해하며 또한 지석과 결합제간의 화학결합을 유도하는 것으로 보고되어 있다.²⁾ 그러나 1370°C 이상에서는 boric oxide막이 분해되어 B_2O , BO_2 그리고 BO 가스가 발생하는 것으로 알려져 있으며, 또한 결합제내에 Na_2O , CaO 등의 알칼리 및 알칼리토류 산화물이 존재할 때는 이들이 (3)과 같이 B_2O_3 와 반응하여 보호막을 제거함으로써 (2)의 반응이 계속 진행되어져 CBN지석이 열화된다고 알려져 있다.^{2,4)}

본 연구에서 사용한 유리질 결합제는 다른 결합제와 유사하게 Table 1에 나타낸 바와 같이 연화점 등을 낮추고자 하는 목적으로 일정량의 Na_2O 와 CaO 를 함유하고 있다. 따라서 고온으로 갈수록 위의 (3)의 반응과 이에 따른 (2)의 가스발생 반응이 활발하게 일어나 총기공량이 크게 증가하였으리라 판단된다. 따라서 이러한 결과로부터 약 1000°C 이상에서는 CBN지석의 열화가 발

생할 뿐만 아니라 이에 기인한 가스의 발생으로 말미암아 소결시 기공량이 크게 증가함을 알 수 있다.

또한 유리질 결합체만을 소결한 경우에 비해 CBN지석을 같이 넣은 경우, 900°C 및 950°C 소결시 총기공량이 다소 감소한 것을 알 수 있는데, 이러한 결과는 900°C 이상에서 발생하는 것으로 알려진 (1)의 반응은 총기공량의 증가에 커다란 영향을 미치지 않는 것처럼 보인다. 그러나 다른 조건은 모두 동일하게 하고 소결 온도에서의 유지시간만을 0 h에서 3 h로 증가시켰을 때의 결과인 Fig. 3을 Fig. 2와 비교하여 볼 때, 800°C에서의 총기공량은 26.7%로 같은 반면 900°C 및 950°C에서는 일반적인 치밀화과정과는 달리 폐기공량의 증가로 총기공량이 각각 5.2%와 13.6%가 증가했음을 알 수 있다. 소결시간에 따른 이러한 기공량의 증가는 900~980°C 사이에서 발생할 수 있는 반응인 (1)의 반응이 진행됨을 말해주는 것으로 (1)의 반응 역시 기공량증가의 주요원인이 될 수 있음을 알 수 있다.

한편 본 연구에서는 이러한 기공량의 증가가 유리질 결합체 자체의 반응에 의해 발생한 가스나 합체에 의한 것인지를 확인하고자 별도의 실험을 실시하였다. 즉 유리질 결합체만의 소결시간을 0 h에서 3 h로 증가시켰을 때의 기공량을 관찰한 결과 950°C 소결시 총기공량이 23.7%(0 h)에서 27.8%(3 h)로 4.1%가 증가하는 것을 알 수 있었다. Fig. 3에서 관찰된 같은 온도에서의 총기공량의 증가가 이 값에 비해 훨씬 큰 값(13.6%)임을 고려하여 볼 때 이러한 기공량의 증가는 지석이 첨가됨에 따라 발생하는 가스에 기인함을 의미한다. 따라서 (1)의 반응 역시 기공량증가의 주요원인이 될 수 있음을

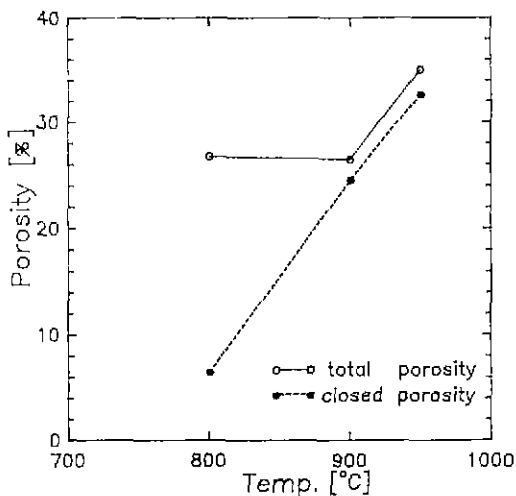


Fig. 3. Porosity vs. sintering temperature for vitreous bonded CBN specimens when sintering time is 3 h (V_s/V_b : 1.64, grit size: 140/170 mesh).

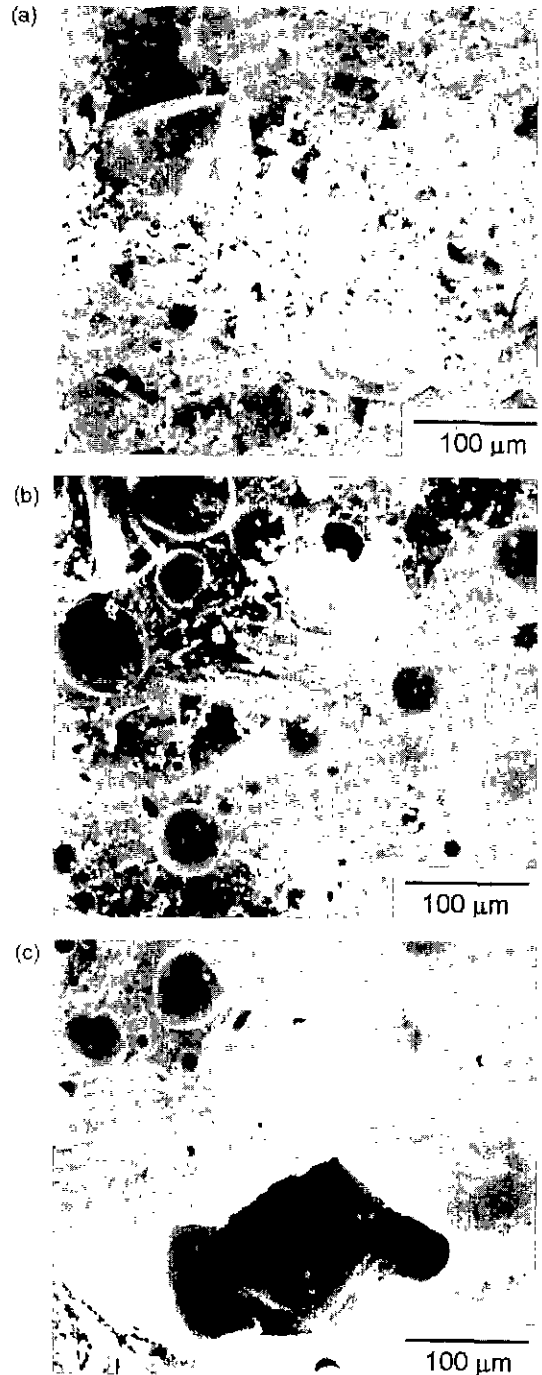


Fig. 4. Microstructures of vitreous bonded CBN specimens sintered at: (a) 700°C, (b) 950°C and (c) 1100°C.

다시 확인할 수 있었다.

Fig. 4의 (a), (b) 그리고 (c)는 각각 Fig. 2의 시편중

700°C, 950°C 그리고 1100°C에서 소결한 시편의 파단면 미세조직 사진이다. (a)의 경우 결합제가 아직 완전히 용융되지 않고 분말의 형태를 유지하고 있어 지석을 완전히 적시지 못하고 있음을 보여준다. 반면 (b)는 결합제가 이미 상당히 용융되고 생성된 가스로 인하여 기공이 형성되었음을 보여주고 있으며, 1100°C의 소결체인 (c)에서는 활발한 반응으로 인해 많은 양의 가스가 생성되어 큰 기공이 형성되었음을 알 수 있다.

3.2. 지석크기의 영향

Fig. 5는 앞서의 실험에서 사용한 지석(140/170 mesh, 평균입경 140 μm)보다 그 크기가 작은 325/400 mesh(평균입경 60 μm)의 지석을 이용하여 지석의 양은 같으나 그 개수는 증가시킨 시편의 기공량 변화를 나타낸 것이다. 이 경우에도 유리질 결합제와 지석간의 부피비(V_b/V_s)는 1.64, 소결시간은 0 h 그리고 승온속도는 4°C/min으로 앞서의 Fig. 2의 조건과 동일하게 유지하였다. 이 결과를 Fig. 2와 비교하여 보면 전반적인 경향은 유사하나 전 온도영역에 걸쳐 총기공량이 다소 증가하였음을 알 수 있다. Fig. 2와 비교하여 각 온도에서의 총기공량을 살펴 보면 0.8%(700°C), 1.2%(800°C), 1.6%(900°C), 2.0%(1000°C) 그리고 7.9%(1100°C)가 각각 증가하였다. 이는 지석의 크기가 작아지면 전 온도영역에서 총기공량이 증가하며 또한 그 증가량은 온도가 높아질수록 점차적으로 커짐을 말해준다.

Fig. 5에서 900°C 이하의 결과를 Fig. 2와 비교하여 보면 폐기공량은 700°C, 800°C 그리고 900°C에서 각각 0.2

%, 0.5% 그리고 2.3%가 감소하였으나 이 온도에서의 개기공량이 각각 1.0%, 1.7% 그리고 4.6%가 증가하여 그 결과 총기공량이 증가하였음을 알 수 있다. 이는 앞에서 유리질 결합제만을 소결한 경우와 지석(140/170 mesh)을 첨가하였을 때의 변화와 같은 경향으로, 325/400 mesh의 경우 지석의 크기가 작기 때문에 같은 양을 첨가하였을 때 상대적으로 지석의 수는 증가하고 따라서 결합제의 지석에 대한 불완전한 젖음 등의 원인으로 개기공이 보다 많이 생성된 때문으로 판단된다.

한편 950°C 이상에서의 기공량을 140/170 mesh의 지석을 사용했을 때(Fig. 2)와 비교하여 보면 900°C 이하에서의 경향과는 달리 폐기공량이 각각 0.6%(950°C), 3.2%(1000°C) 그리고 0.7%(1100°C)가 증가하였음을 알 수 있다. 이는 325/400 mesh의 보다 작은 지석을 사용했을 경우 CBN의 표면적이 증가하고 따라서 앞서 언급한 가스발생의 반응들이 보다 활발히 일어나기 때문으로 판단된다. 특히 1100°C에서 소결한 경우를 1000°C에서 소결한 경우와 비교하여 보면 소결온도가 높아졌음에도 불구하고 개기공량이 2.7%에서 7.3%로 오히려 증가하였음을 알 수 있다. 또한 이때의 개기공량을 140/170 mesh의 지석을 사용하여 같은 온도(1100°C)에서 소결한 경우(Fig. 2)와 비교해 보더라도 개기공량이 0.1%에서 7.3%로 크게 증가하였음을 알 수 있다. 이는 소결온도가 높아지거나 또는 CBN지석의 표면적이 증가할 때 많은 양의 가스가 생성되고, 이로 말미암아 폐기공내 가스압력이 상승되어 일부 가스가 시편의부로 분출함으로써 폐기공의 일부가 개기공화한 때문으로 판단된다.

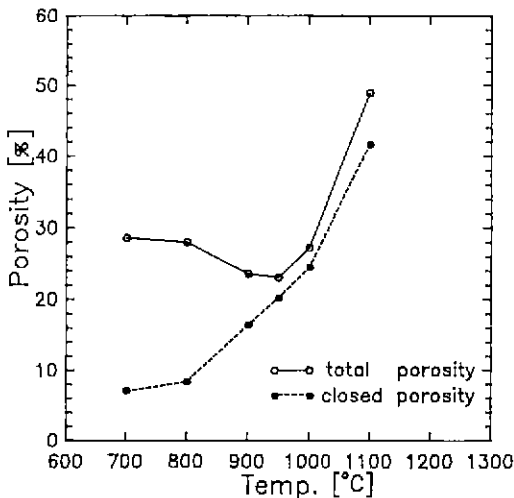


Fig. 5. Porosity vs. sintering temperature for vitreous bonded CBN specimens when grit size is 324/400 mesh A(V_a/V_b : 1.64, sintering time: 0 h).

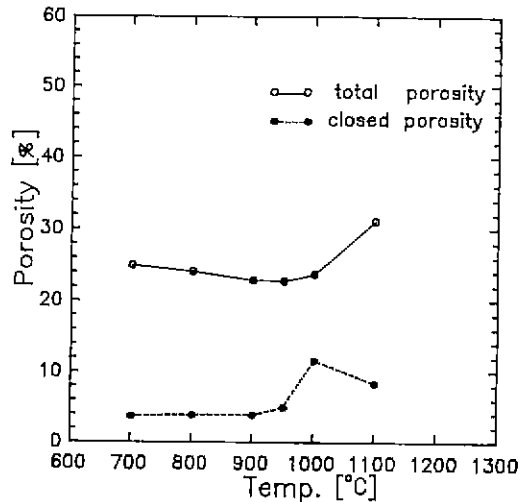


Fig. 6. Porosity vs. sintering temperature for vitreous bonded CBN specimens when V_a/V_b is 0.54 (grit size: 140/170 mesh, sintering time: 0 h).

3.3. 지식량의 영향

Fig. 6은 결합제와 지식의 부피비(V_p/V_s)를 0.54로, 즉 지석을 보다 많이 첨가하여 소결한 시편의 기공률 변화를 나타낸 것으로 입자크기 및 소결시간 그리고 승온 속도는 각각 140/170 mesh, 0 h 그리고 4°C/min로 Fig. 2의 조건과 동일하게 유지한 것이다. Fig. 6은 이제까지의 결과와는 상당히 다른 양상을 나타내는데 일반적으로 폐기공률이 크게 감소하여 전반적으로 총기공률의 변화가 크지 않음을 알 수 있다.

우선 폐기공률과 개기공률의 변화를 Fig. 2와 비교해 보면, 우선 전 온도영역에서 폐기공률은 감소하고 개기공률은 증가하였음을 알 수 있다. 폐기공률의 경우 감소량은 각각 3.6%(700°C), 5.0%(800°C), 14.9%(900°C), 14.7%(950°C), 9.7%(1000°C) 그리고 32.6%(1100°C)이었으며 개기공률의 경우 그 증가량은 각각 0.8%(700°C), 2.3%(800°C), 16.5%(900°C), 16.0%(950°C), 8.2%(1000°C) 그리고 22.8%(1100°C)였다. 그 결과 Fig. 2와 비교시 총기공률은 700°C와 800°C에서는 각각 2.8% 및 2.7%의 감소를 나타내다가 900°C와 950°C에서는 각각 1.6%와 1.3%의 미미한 증가를 나타내었으며 1000°C와 1100°C에서는 다시 1.5%와 8.8%의 감소를 나타내었다.

이와 같은 결과는 많은 양의 지석이 첨가될 경우 약 900°C 정도까지는 결합제의 불완전한 적심 등의 원인으로 상대적으로 폐기공화가 서서히 일어나 그 결과 폐기공의 형성이 잘 이루어지지 않음에 따라 총기공률은 Fig. 2에 비해 감소한 것으로 보인다. 그러나 900°C 내지 950°C 정도에서는 이러한 폐기공의 감소와 더불어 앞서 언급한 반응에 의한 가스가 일부 발생함에 따라 개기공률이 증가함에 따라 총기공률이 다소 증가한 것으로 보인다. 또한 1000°C 이상에서는 가스발생 반응이 활발히 일어남에 따라 발생하는 가스가 시편외부로 분출되는 과정에서 폐기공률이 Fig. 2에 비해 상대적으로 많이 감소함으로써 총기공률이 감소한 것으로 판단된다. 특히 1100°C의 경우 이러한 반응이 보다 활발해짐에 따라 폐기공내의 가스압력이 증가하고 결합제의 점도 또한 더욱 낮아져 가스가 시편외부로 보다 용이하게 분출되어 폐기공이 상대적으로 많이 감소된 결과 총기공률이 감소한 것으로 판단된다. 이러한 1100°C에서의 거동은 같은 온도의 Fig. 5에서와 유사한 거동으로, 두 경우 모두 일반적인 치밀화거동과는 달리 1000°C에 비해 개기공률이 증가한 것으로부터 이러한 결과를 추정할 수 있다.

이와 같은 결과들로부터 유리질 결합 CBN공구에서의 기공률은 소결온도에 따라 일반적인 치밀화과정뿐만 아니라 결합제 자체의 반응, 지식크기 및 양 그리고 이에 따른 CBN지석의 가스발생반응 등 많은 요인에 의해 영

향을 받고 있으므로 CBN공구의 제조시 이러한 점을 충분히 고려하여야만 원하는 기공률을 가진 제품을 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

유리질 결합 CBN공구의 제조시 각종 공정조건 즉 소결온도, 지식의 크기 및 양 등에 따라 그 기공률이 어떻게 변화하는가를 관찰하였다. 유리질 결합제만을 소결시 약 950°C에서 가장 치밀화되었으며 그 이상의 온도에서는 총기공률이 다소 증가하였는데 이는 유리질 결합제 자체의 가스방출 또는 폐기공의 합체 때문인 것으로 추정된다. 또한 지식과 결합제를 혼합, 소결하였을 때 유리질 결합제만을 소결한 경우와 유사하게 900°C 내지 950°C의 범위에서 가장 치밀화가 이루어졌으나 그보다 높은 온도에서는 총기공률이 점차적으로 크게 증가함을 확인하였다. 이는 CBN지석의 가스발생 반응으로 생성된 가스의 포획이 주원인인 것으로 추정되며 이러한 반응은 온도가 증가함에 따라 매우 활발해짐을 알 수 있었다.

한편 지식의 양은 같게 하고 그 크기를 보다 작은 지식으로 대체하여 소결한 결과는 전 온도영역에 걸쳐 총기공률이 증가하고 그 증가량은 온도에 따라 점차적으로 증가하는 경향을 나타내었는데, 이는 더 많은 수의 지석이 첨가됨에 따라 900°C 이하에서는 결합제의 불완전한 적심 등으로 개기공률이 증가하고 이보다 높은 온도에서는 CBN의 가스발생 반응이 보다 활발히 일어난 때문으로 판단된다. 또한 지식의 양을 증가시킨 경우를 비교시 전 온도영역에서 폐기공률은 감소하고 개기공률은 증가하였음을 알 수 있는데 이 역시 지식크기를 감소시킨 경우와 유사한 원인으로 해석된다.

본 연구로부터 유리질 결합 CBN공구의 연삭성능 등에 많은 영향을 끼치는 기공률의 변화는 여러 요인에 의해 일반적인 소결체와는 그 양상이 매우 다름을 확인할 수 있었으며, 이러한 여러 요인 즉 치밀화과정, 결합제 자체의 반응, 지식크기 및 양 그리고 이에 따른 CBN지석의 가스발생 반응등을 충분히 고려하여 공구를 제조할 때만이 그 기공률을 조절할 수 있음을 확인할 수 있었다.

REFERENCES

1. N. Viernekes, "CBN Grinding Wheels with Ceramic Bonding for Cost-effective Grinding," Ball and Roller Bearing Eng. Publ. No. SK 56302 EA (1987).
2. M. Yokogawa and K. Yokogawa, "Grinding Performance of Borazon CBN Wheel-4," Machine & Tool,

- 29(1), 150-159 (1985).
3. C.F. Gardinier, "Physical Properties of Superabrasives," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **67**(6), 1006-1009 (1988)
 4. General Electric Superabrasives Report. "Understanding the Vitreous Bonded Borazon CBN System," Application Development Operations. Worthington, 1988.
 5. H.O. Juchem and B.A. Cooley, "Vitrified Bond-No longer a Synonym for Conventional Abrasive Tools," 1984.
 6. T.I. Barry, L.A. Lay and R. Morrell, "The Strength of Experimental Grinding Wheel Materials including Use of Novel Glass and Glass-Ceramic Bonds," *Trans. J. Brit. Ceram. Soc.*, **79**, 139-145 (1980).
 7. J. Yang, "Study on the Fabrication and Microstructure of Vitreous Bonded CBN Wheels," Ph.D. Thesis, Seoul National Univ, 1992.
 8. M. Moser, "Microstructures of Ceramics-Structure and Properties of Grinding Tools," *Académiai Kiadó, Budapest*, 1980.
 9. R.M. German, "Liquid Phase Sintering," Plenum Press, New York, 1985