

## 분말사출성형에 의한 WC-Co 계 milling insert 제조

성환진 · 윤태식 · 안상호  
포항산업과학연구원 소재연구부문

### WC-Co Milling Inserts Manufactured by Powder Injection Molding

Hwan-Jin Sung, Taesik Yoon and S. Ahn

Advanced Material Division, RIST, Pohang 790-330, Korea

(Received January 12, 1999)

**Abstract** The purpose of this study is to investigate the manufacturing feasibility of WC-Co milling inserts via Powder Injection Molding (PIM) process. WC-Co is used in a wide variety of cutting tools due to its high hardness, stiffness, compressive strength and wear resistance properties. WC-Co parts for a high stress application were conventionally produced by the press and sinter method, which were limited to 2 dimensional shapes. Manufacturing WC-Co parts for a high stress application by PIM implies that tool efficiency can be highly improved due to increased freedom in design. P30 grade WC powder (WC-Co-TiC-TaC system) was mixed with RIST-5B133 binder and injection molded into milling inserts (Taegu Tech. Model WCMX 06T 308). The mean grain size of the powder was about 0.8  $\mu\text{m}$ . Injection molded specimens were debound by solvent extraction and thermal degradation method at various conditions. The specimens were sintered at 1400°C for 1 hr in vacuum. Carbon content, weight loss, dimensional change, and macro defects of the specimen were carefully monitored at each stage of the PIM process. PIMed WC-Co milling inserts reached 100% full density after sintering. Its mechanical properties and micro-structures were comparable with the press and sintered milling insert. Carbon content of the sintered WC-Co insert was mainly determined by the atmosphere of thermal debinding. By controlling powder loading and injection molding condition, dimensional accuracy could be obtained within 0.4%. We confirm that PIM can not only be an alternative manufacturing method for WC-Co parts economically but also provide a design freedom for more efficient cutting tools.

### 1. 서 론

초경합금은 WC, TiC, TaC, VC 등과 같은 고경도의 미세한 탄화물과 Co, Ni, Fe 등과 같은 비교적 연질의 금속기지로 이루어져 있다. 이 중 가장 대표적인 초경합금은 WC-Co 계 초경합금이고 별다른 언급이 없이 초경합금이라함은 WC-Co를 말한다. 초경합금은 경도, 강성, 압축 강도 및 고온 경도 등과 같은 기계적 특성이 우수해 절삭공구 및 내마모재로 널리 사용되고 있다. 그러나 초경의 난가공성 때문에 값이 비싼 단점도 있다.

분말사출성형은 net-shape 공정이므로 초경에서 가장 문제가 되는 가공공정의 생략이 가능하다. 따라서 분말사출성형에 의해 초경 부품을 제조할 경우 가격을 현저히 낮출 수 있다. 이와 같이 분말사출성형기

술은 초경 또는 세라믹과 같은 난가공성 고경도 재료를 이용한 부품 제조에 가장 적합한 기술이다. 일반적으로 분말사출성형에 사용되는 분말은 일반 분말 야금법에 사용되는 분말보다 미세하다. 그러나 초경의 경우 일반 PM에서 사용하는 초경 분말 자체가 미세해 일반 PM 용 분말을 그대로 사용할 수 있다. 그러므로 원료분말의 가격 상승없이 가공비를 현저히 낮출 수 있어 가격 경쟁력을 더욱 높일 수 있다. 최근 분말사출성형법에 의한 초경 부품의 제조에 관한 연구가 활발히 진행되는 것도 이러한 맥락에서이다.<sup>1,7)</sup> 또한, 분말사출성형법으로 인서트를 제조하면 형상의 제약을 거의 받지 않으므로 인서트의 설계시 기능성 위주의 디자인이 가능하다. 그 예로 인서트에 훨씬 복잡한 형상의 칩 브레이크가 가능하며, 높은 clearance angle을 줄 수가 있다. 그리고 사출성형시

금형 내에서 정수압을 받게 되므로 일 방향으로 가해지는 일반 분말야금 제품에 비해 더 균질한 조직을 얻을 수 있는 장점도 있다.

분말사출성형에 의해 초경 인서트 제조시 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다. 첫째, 소결체의 표면특성이다. 분말사출성형에서는 재가공 없이 바로 사용하는 것이 목표이므로 소결체 표면의 미세조직과 기계적 특성이 우수하고 내부와 균일해야 한다. 그리고 제품의 상품성을 위해 표면 또한 미려해야 한다. 둘째는 정밀도이다. 인서트와 같은 절삭공구들은 정밀한 가공을 위해 엄격한 치수관리가 요구되어 진다. 일반적으로 절삭공구의 정밀도는  $\pm 5 \mu\text{m}$  ≤ 치수 공차 ≤  $\pm 50 \mu\text{m}$  인데 일반적인 인서트의 크기를 기준할 때 0.04-0.4%의 치수정밀도에 해당된다. 분말야금법에서는 가공을 통해 정밀도를 제어하지만, 소결체의 치수정밀도가 요구되는 분말사출성형법에서는 제조공정에서 제어해야하는 어려움이 있다. 끝으로 초경의 탄소량 제어이다. 일반 분말야금의 경우 1~3 wt.% 정도의 결합제가 사용되는 반면 분말사출성형에서는 사출시 유동성을 위해 약 10 wt.%(~50 vol.%)의 복합유기 결합제가 사용된다.<sup>3)</sup> 이러한 다량의 유기결합제는 열적 결합제 제거 공정후 많은 양의 잔류 탄소가 존재할 가능성이 있어 초경의 탄소량 제어를 더욱 까다롭게 만든다. 초경의 물성을 저하시키는 유리탄소나  $\eta$  상의 출현을 막기 위해서는 초경의 탄소량이 적정량 존재해야 한다.<sup>8)</sup> WC-10 wt.%Co의 경우 적정 탄소량의 범위가 약 0.2 wt.%로 매우 좁다.<sup>9)</sup> 그리고 탄소량에 따라 결합상인 Co의 격자상수가 달라지므로 최종 제품의 치수에도 큰 영향을 미치기도 한다.<sup>10,11)</sup> 따라서 분말사출성형에 의한 초경 제품의 제조에 있어 탄소량의 제어가 가장 중요한 요소중의 하나이다.

이 연구의 최종 목적은 분말사출성형에 의한 초경 인서트의 제조 가능성을 확인하는데 있다. 이러한 목적하에서 분말사출성형 공정에 따른 초경 인서트의 탄소량 제어 및 치수 제어, 분말사출성형된 인서트의 결합 제어, 일반 분말야금법과 분말사출성형된 초경의 미세조직의 비교 등이 조사되어 졌다.

## 2. 실험방법

분말사출성형에 의한 초경 인서트 제조에 사용된 인서트 모델은 대한중석에서 생산되고 있는 WCMX

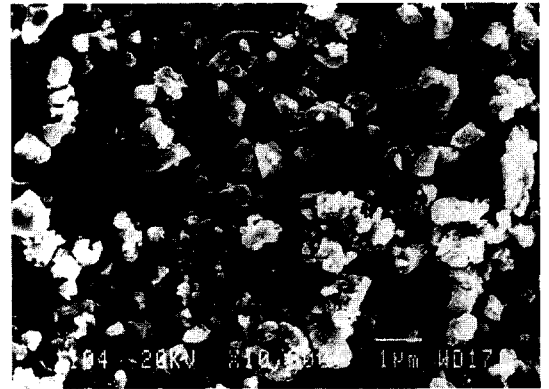


Fig. 1. Scanning electron micrograph of a milled P30 powder.

08T308이다. 이 밀링 인서트의 크기를 나타내는 내접원(Inscribed Circle, I.C.) 크기는 12.7 mm이고 공차는  $\pm 0.025 \text{ mm}$ 이다. 실험에 사용된 초경 분말은 대한중석에서 제조 및 볼밀된 P30 계 분말이다. 그림 1에 분말의 형상을 나타내었고 평균입도는 약  $0.8 \mu\text{m}$ 이다. Feed stock의 제조에 사용된 유기 결합제는 R5B133이고 열가소성 다성분계 결합제이다. 분말과 결합제의 혼합은 double planetary 혼합기를 사용하여  $150^\circ\text{C}$ 에서 1시간 동안 행하였다. 혼합분말의 분말충전율은 49.5%였다. 사출은 27톤 Arburg 사출기를 사용하였고, 케비티 압 제어방식은 사용되지 않았다. 사출공정이 치수제어에 미치는 영향을 조사하기 위해 사출압력, 보압, 사출속도, 사출온도 및 금형온도를 변화 시켰다. 금형은 2케비티로 제작되었고, 게이트는 pin-point 방식을 사용하였다.

결합제의 제거는 용매 추출 후 열분해하는 2단계가 사용되었다. 용매추출용 용제로는 신너가 사용되었고,  $45^\circ\text{C}$ 에서 8시간 동안 용매 추출하였다. 용매 추출된 시편은 건조 후 열분해 되었다. 열분해 조건에 따른 잔류탄소의 변화를 조사하기 위해 승온 속도, 유지온도 및 분위기를 변화시켰다. 열분해 종료 후 냉각 없이 곧바로 질소 분위기에서  $850^\circ\text{C}$ 까지  $1^\circ\text{C}/\text{min}$ 로 승온하여 1시간 유지하여 예비소결 하였다. 이때 분위기 가스의 유속은 모두 1 l/min로 동일하게 하였다. 결합제 제거 공정에서 완전하게 제거되지 못한 결합제가 예비소결 공정중에 제거되면서 탄소량이 변하지만, 소결공정 중에는 탄소량의 변화가 적으므로 예비소결체의 탄소량 분석이 중요하다. 그리고 일단 소

결된 후에는 초경의 분쇄가 어려워 소결체의 포화자화값(Specific Magnetic Saturation, SMS) 측정과 같은 간접적인 방법을 통해 탄소량을 측정하게 된다. 따라서 본 연구에서는 예비소결 까지 마친 시편의 탄소량을 주로 측정하였다. 소결은 1400°C 진공분위기에서 1시간 동안 행해졌다. 이때 진공도는  $10^{-1} \sim 10^{-2}$  torr였고 진공로의 발열체는 흑연이었다. 소결 후 밀도, 치수 및 미세조직을 관찰하였다. 인서트의 치수 측정시 흑연 보트의 모서리부분에 놓였던 인서트는 제외시켰다.

### 3. 결 과

#### 3.1. 사출

그림 2에 금형내 혼합 분말의 충전 경향을 나타내었다. 제팅 현상이 없이 순차적으로 충진이 잘 이루어졌다. 그러나 초기 부분에서는 작은 게이트를 통한 빠른 충진에 의해 부분적인 제팅 현상이 나타났다. 그림 2의(a)에 화살표로 표시한 바와 같이 제팅에 의한 주름이 초기에 관찰된다. 이러한 주름들은 충진이 진행되는 동안 충전 압력에 의해 사라지고 소결 후에도 그 흔적은 관찰되지 않았다. 그리고 웰드라인은 인

서트의 좌우 대칭선에 형성되었고 소결후에도 웰드라인의 흔적은 전혀 관찰되지 않았다. 이는 사출 중 분말과 결합제 간의 분리가 일어나지 않음을 의미한다.

사출공정조건에 따른 사출체의 무게 변화를 조사한 결과 금형온도, 사출속도, 사출압력 등은 사출체 무게에 큰 영향을 미치지 않았다. 그러나 그림 3에

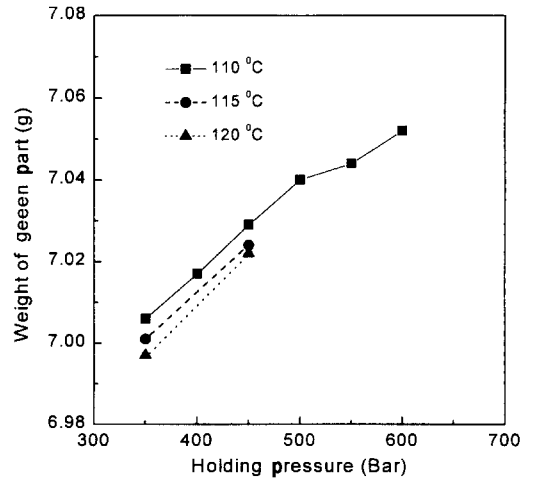


Fig. 3. Weight change of green part with holding pressure.

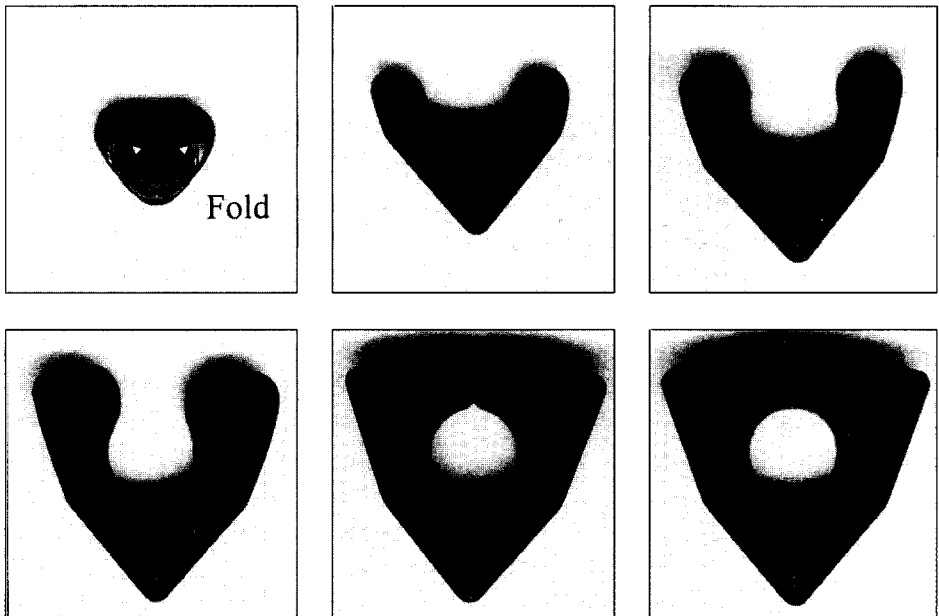


Fig. 2. Photographs showing the shape generation for the insert during progressive die filling.

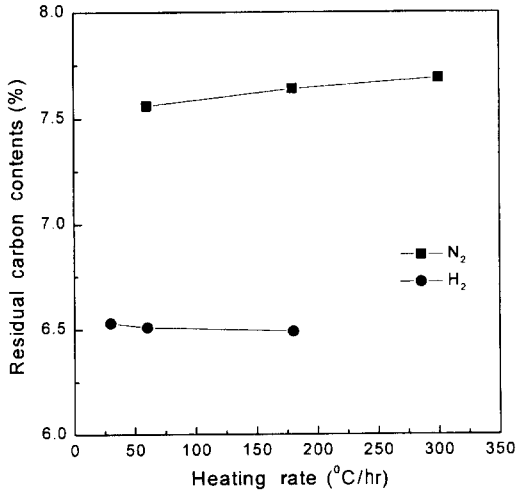


Fig. 4. Effect of heating rate on the residual carbon contents after debinding. Holding temperature and time are 500 °C and 1 hr, respectively.

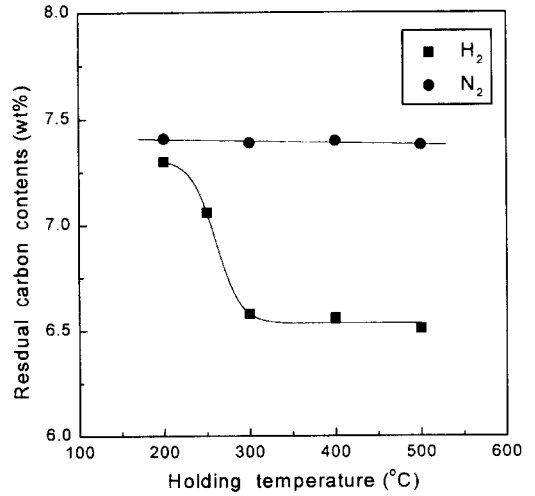


Fig. 5. Effect of holding temperature on the residual carbon contents after debinding & presintering. Heating rate and time are 1 °C/min and 1 hr, respectively.

나타낸 바와 같이 보압은 사출체의 무게에 비례하였고, 250 bar의 보압 변화에 약 0.7wt.%의 사출체 무게 변화로 나타났다.

### 3.2. 결합제 제거 공정

소결체의 조직이 3상 건전상으로 되기 위해서는 결합제 제거 공정에서 탄소량을 제어하여 소결 전 예비 소결체의 탄소량을 조절해 주어야 한다. 결합제 제거 공정이 탈지체의 잔류탄소량에 미치는 영향을 조사하기 위해 승온속도, 분위기 및 유지 온도 등을 변화시켰다.

먼저 유지온도와 시간을 500°C, 1시간으로 고정하고 승온속도와 분위기에 따른 탈지체의 잔류탄소량의 변화를 분석하였고 이를 그림 4에 나타내었다. 수소분위기에서 열분해 할 경우 잔류탄소량은 승온속도에 관계없이 약 6.5 wt.%로 일정하였다. 초기 분말의 탄소량 6.95 wt.%에서 약 0.45 wt.%의 탈탄이 일어났다. 질소에서 열분해 할 경우 잔류탄소량은 약 7.6 wt.%였고 승온속도가 증가함에 따라 미량 증가하였다. 질소 또는 수소 분위기에는 승온속도의 조절로는 잔류탄소량을 조절이 어려웠다.

그림 5는 승온속도와 유지온도를 각각 1°C/min, 1시간으로 고정하고 열분해 유지온도와 분위기에 따른 예비소결체의 잔류탄소량의 변화를 나타내었다. 질소분위기에서는 여전히 잔류탄소량이 약 7.4 wt.%

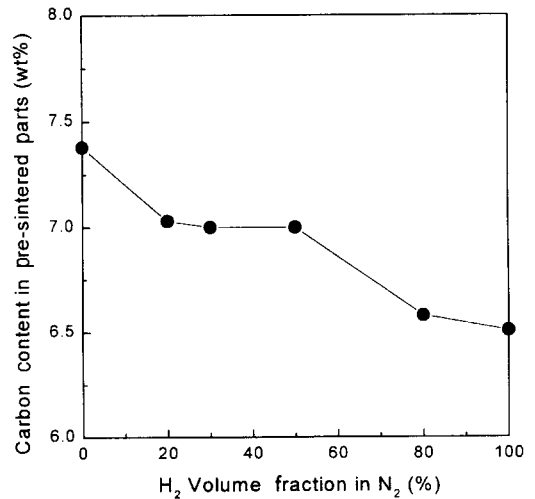


Fig. 6. Effect of hydrogen volume fraction in debinding atmosphere on the residual carbon contents after debinding and presintering. Holding temperature, time and heating rate are 500 °C, 1 hr and 1 °C/min, respectively.

로 변화가 거의 없었다. 그러나 수소분위기에서는 200~300°C사이에서 급격한 변화를 나타내었고 그 이상의 온도에서는 약 6.5 wt.%로 거의 일정하게 유지되었다.

그림 6에는 유지온도와 승온속도를 각각 500°C, 1°C/min로 일정하게 두고, 분위기 기체의 질소와 수소

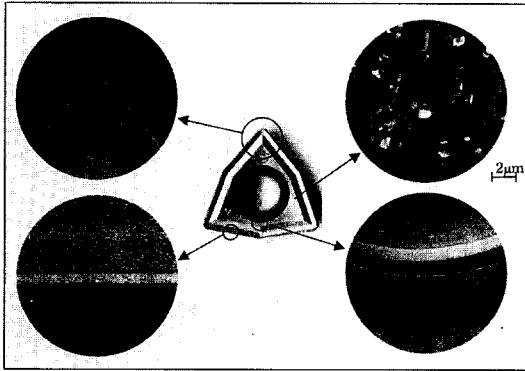


Fig. 7. Pictures showing the macro shape of a sintered insert and the magnified shape of important position.

혼합비율에 따른 예비소결체의 잔류탄소량의 변화를 나타내었다. 수소의 비율이 증가됨에 따라 잔류탄소량은 초기에 급격한 감소를 보인후 수소의 비율이 대략 50%까지 평형상태를 보이고 다시 100% 수소까지 감소되었다.

### 3.3. 소결

그림 7에 진공소결된 소결체의 형상을 나타내었고 주요 부위를 확대하여 나타내었다. 소결 후에도 인서트의 절단날, 고정 구멍의 모서리와 상부표면에 엠보싱 패턴 처리된 형상 등이 완전하게 유지되어 재가공 없이 소결체 그대로 사용이 가능하였다.

소결체를 절단하여 관찰한 결과 전체에 걸쳐 기공이 전혀 관찰되지 않아 100% 치밀화가 이루어 졌음을 확인할 수 있었다. 그림 8에 분말사출성형된 초경 인서트와 일반 분말야금법으로 제조된 초경 인서트의 내부 미세조직을 나타내었다. 분말사출성형된 인서트의 미세조직이 일반 분말야금법에 의해 제조된

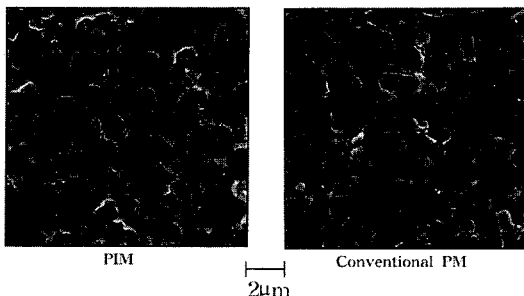


Fig. 8. Microstructures of PIMed and conventional PM P30 grade cemented carbides.

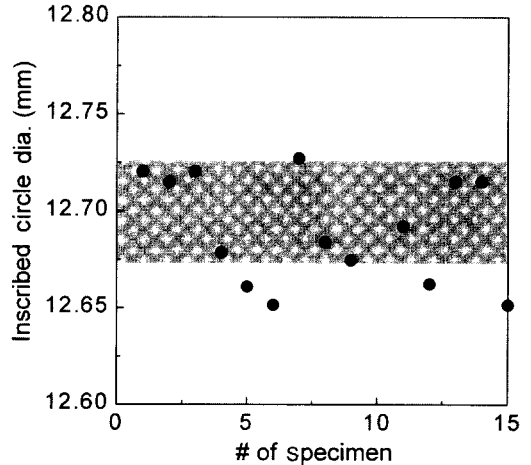


Fig. 9. Inscribed circle size distribution of sintered milling inserts.

인서트의 미세조직 보다 더욱 균일하게 나타났다.

그림 9에 소결체의 I. C. 크기 분포를 나타내었다. 인서트 적용 모델의 I. C. 크기 범위  $12.7 \pm 0.025$  mm 에 속하는 확률은 약 75%로 나타났고  $12.7 \pm 0.050$  mm에 속하는 확률은 100%였다.

## 4. 고 찰

### 4.1. 치수제어

치수제어의 개념에는 크게 두가지로 나눌 수가 있는데, 하나는 소결체의 절대적인 크기의 치수제어이고 하나는 소결체 내에서 수축율의 편차에 따른 상대 치수 변화의 제어이다. 그런데 인서트의 경우 형상이 3축 대칭이고 종횡비(aspect ratio)가 적어 등방수축이 일어났다. 그리고 액상소결을 통한 100% 치밀화가 이루어져 소결체 내에서의 수축율 편차에 따른 치수 변화는 소결로 코너부에 위치했던 시편을 제외하고는 거의 없었다. 따라서 소결체 내의 수축율 변화에 따른 치수제어는 고려대상에서 제외시키고 절대크기의 치수제어만 고찰하였다.

분말사출성형의 가장 큰 장점 중의 하나는 정밀한 치수제어가 가능한 것이다. 분말사출성형공정에서 치수를 제어할 수 있는 요소로는 금형 내 캐비티의 크기, 혼합체의 분말충진율, 사출공정 변수, 초경 내 잔류탄소량과 소결체의 치밀화 등이다. 분말사출성형에서 치수제어는 1차적으로 금형캐비티의 크기로

이루어지고, 다음으로는 분말충전율로 조절한다. 그런데 사출공정변수에 따라 금형 내 충전율이 달라지기 때문에 금형케비티와 분말충전율만으로는 근사적인 치수제어는 가능하지만 정밀한 치수제어는 어렵다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 약 250 bar의 보압 조절로 약 0.7 wt.%의 무게가 변하므로 약 0.23%의 길이 변화가 가능하다. 이는 인서트의 공차 0.2%보다 크기 때문에, 보압의 설정이 잘못될 경우 인서트가 공차범위를 벗어날수 있음을 의미하기도 하고, 보압의 조절을 통해 미세치수제어가 가능함을 의미하기도 한다. 그런데 결합이 없는 사출체 제조를 위해서는 사출공정변수가 적정 범위, 즉 최적사출조건내에 존재해야 한다. 따라서 최적사출조건 범위내에서 원하는 사출체의 무게가 얻어지도록 최종적으로 분말충전율의 미세한 수정이 있어야 한다.

초경의 경우 탄소함량에 따라 흑연 또는  $\eta$  상이 출현된다. 이런 상변화는 단순히 주어진 조성범위 내에서의 상변화가 아니라 상대적으로 비중차가 큰 탄소의 유입 또는 유출에 의한 상변화이므로 비교적 큰 치수변화를 일으킨다. 밀도가  $12 \text{ g/cm}^3$ 인 P30에서 1 wt.%의 잔류탄소량이 증가될 경우 길이가 약 1.5% 증가된다. 이와 같이 부적합한 상의 출현에 의해서도 치수변화가 생기지만, 우리가 목표하는 3상(WC- $\beta$ (I)- $\gamma$ ) 전전영역 내에서도 치수변화가 일어난다. 이는 3상 전전영역 내 탄소함량에 따라  $\gamma$  상의 격자상수 값이 달라지기 때문이다.<sup>11)</sup> 이러한 격자상수의 변화는 탄소함량에 따라  $\gamma$  상의 W 고용도가 달라지기 때문으로 알려져 있다.<sup>8)</sup> P30의 경우 3상 전전상을 갖는 탄소량의 범위가 약 0.25%인데 이 합금탄소량 변화에 따라  $\gamma$  상의 격자상수가  $3.551 \text{ \AA}$ 에서  $3.576 \text{ \AA}$ 까지 변한다.<sup>11)</sup> 이러한 격자상수의 변화는 약 0.06%의 치수변화(10%Co기준)를 일으킬 수 있다. 따라서 정밀한 치수제어를 위해서는 엄격한 탄소량 조절이 필수적이다.

앞서 살펴본 바와 같이 보압 250 bar의 변화와 3상 전전탄소량의 범위 0.25 wt.%의 변화만으로도 약 0.3%의 치수변화를 일으킬 수 있다. 따라서 밀링 인서트와 같은 정밀한 초경 부품을 제조하기 위해서는 엄격한 공정조건의 제어가 필요하다. 본 연구에서 확보한 초경 인서트의 치수정밀도는 수율 75% 기준으로  $\pm 0.025 \text{ mm}$ (약 0.2%)이고 수율 100% 기준으로는  $\pm 0.050 \text{ mm}$ (약 0.4%)이다. 케비티압력 제어(cavity pressure control)하에서 사출했다면 사출체의 무게

의 편차를 줄일 수 있어 치수 정밀도가 더욱 높았을 것으로 예측된다. 전체 공정의 최적화가 이루어질 경우 재가공 없이도  $\pm 0.025 \text{ mm}$ (약 0.2%) 정밀도로 95% 이상의 수율이 가능하며, 분말야금에 의한 초경 부품 제조보다 더욱 높은 경쟁력을 가질 것으로 판단 된다.

#### 4.2. 초경의 탄소함량 조절

일반 분말야금법에 의해 초경부품 제조시 탄소량의 조절은 원료분말 단계에서 이루어지고 결합제 제거 공정과 소결 조건에 따라 미세한 탄소량의 조절이 가능하다. 분말사출성형의 경우 결합제 제거 공정에 따라 잔류탄소량이 크게 변하지만 역시 근본적으로는 원료분말에서 탄소량을 제어해야 한다. 그러나 분말사출성형공정 특성을 충분히 고려하여 원료분말에서의 탄소량이 조절되어야 한다.

질소분위기에서 결합제를 열분해하는 경우 예비소결체의 탄소함량은 유지온도와 시간에 관계 없이 약 7.4 wt.%가 된다. 이는 결합제 제거공정 직후에는 유지온도와 시간에 따라 탄소함량이 차이나지만, 이어지는 850°C 질소분위기의 예비소결 공정중에 결합제 제거공정중에 제거되지 못했던 결합제가 마저 제거되기 때문이다. 이와 같이 질소분위기에서 결합제를 제거할 경우 잔류탄소량을 조절하는 것은 매우 어렵다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 결합제 제거 공정에서 잔류탄소량을 조절하기 위해서는 수소 분위기에서 200~300°C의 범위 내에서 온도를 조절해 주어야 한다. 그러나 잔류탄소량이 온도에 따라 너무 민감하게 변하기 때문에 잔류탄소량의 조절이 어렵다. 일반적으로 로내에는 적게는 10~20°C, 많게는 40~50°C의 온도 편차가 발생하므로 전체 제품의 균일도를 위해서는 보다 안정된 조건에서 결합제를 제거해 주어야 한다. 따라서 이와 같이 급격하게 변하는 온도 구간에서 잔류탄소량을 조절하는 것은 바람직하지 못하다.

질소와 수소의 혼합가스에서 결합제를 제거한 그림 6을 보면, 수소의 비율이 약 20~50%일 경우 잔류탄소량이 약 7.0 wt.%로 균일하게 나타났다. 이와 같이 넓은 범위의 비율에서 잔류탄소량이 균일한 것은 매우 중요한 의미를 갖는다. 이는 대량생산을 위한 양산로는 매우 크고 결합제 제거 중 발생하는 가스에 의해 위치별로 수소의 혼합비율이 달라질 수 있지만 20~50%의 범위 내에서는 잔류 탄소량이 균일하게

나오므로 제품이 균일해질 수 있기 때문이다. 그런데 7.0 wt.%의 잔류탄소량은 순수한 질소분위기와 순수한 수소분위기에서 결합제를 제거할 때의 중간정도이고 초기 P30 분말의 잔류탄소량 보다는 약 0.05 wt.% 높은 값이다. 이러한 결과는 사출체에 존재하는 탄소가 크게 2가지이기 때문에 일어난다. 두가지 탄소 중 하나는 안정한 탄화물에 존재하는 것이고 다른 하나는 비교적 열적으로 불안정한 결합제에 존재하는 것이다. 질소분위기에서 열분해 하는 경우 결합제에 존재하는 탄소 조차 완전히 제거하지 못하는 것이고, 수소분위기에서 열분해 하는 경우 탄화물의 탄소까지 일부 제거되는 것이다. 혼합 가스의 경우 탄화물의 탄소는 제거하지 못하지만, 결합제에 존재하던 탄소는 일부(약 0.05 wt.%)만 남기고 대부분 제거가 가능해 그림 7과 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다.

앞서도 언급한 바와 같이 양산화 과정에서 탄소함량이 균일한 제품을 얻기 위해서는 공정조건의 변화에 민감하지 않는 매우 안정된 공정이 필요하다. 혼합가스에서 결합제를 열분해하는 경우, 발생가스에 의해 혼합가스의 비율이 달라져도 열분해로 전체에 걸쳐 탄소함량이 균일한 제품을 얻을 수 있다. 따라서 분말사출성형에 의해 초경의 제조시에는 질소와 수소의 혼합 가스내에서 결합제를 제거하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 물론 이때 전체적인 탄소량의 제어는 원료분말의 탄소량 조절을 통해서 이루어져야 하는데, 혼합가스에서의 결합제 제거시 증가되는 탄소량을 고려하여 최종 목표 탄소량 보다 약 0.05 wt.%정도 낮게 원료 분말을 관리해야 한다.

### 4.3. 인서트 마크로 형상 및 미세조직

인서트 소결체의 주요부위를 나타낸 그림 7을 보면 각부위의 형상이 완전히 유지되고 있다. 특히 금형의 파팅라인에 위치하는 인서트 절단날 부위도 플래시 등과 같은 결함 없이 건전하였다. 인서트의 표면 조직도 그림 7에 나타난 것과 같이 탄화물과 Co가 잘 혼재되어 있다. 그리고 내부 조직에서도 기공 없이 완전 치밀화가 이루어져 HIP과 같은 후처리 없이 사용이 가능하다.

그림 8에는 분말사출성형과 일반 분말야금법으로 제조된 초경 인서트의 내부 미세조직을 각각 나타내었는데, 분말사출성형된 초경의 미세조직이 균일하게 형성되어 있음을 볼 수 있다. 이는 분말사출성형

시 금형내에서 혼합분말들이 정수압을 받게 되어 분말들이 고르게 분포하게 되고 소결 후에도 인서트의 전반에 걸쳐 조직이 균일하게 되는 것으로 판단된다. 일방향으로 힘을 받는 분말야금법에서는 펀치와 금형 바닥과 닿는 부분의 충진밀도가 가장 높고 중앙의 충진밀도가 가장 낮아지게 된다.<sup>8)</sup> 따라서 프레스 소결된 부품은 등방수축시에는 충진밀도가 낮은 내부에 기공이 존재하게 되고, 전체적으로 기공이 없는 조직을 얻을 경우 충진밀도가 낮았던 내부로 유동이 발생하게 되어 외형적으로 함몰이 발생하게 된다. 그러므로 일반 분말야금법에 의해 부품의 제조시 재가공을 필요로 하게 된다.

분말사출성형에 의한 초경 인서트의 제조에 있어 가장 문제가 되는 부분 중의 하나는 분말사출성형을 위한 인서트의 디자인이다. 현재 생산되는 거의 모든 인서트는 형상의 제약을 많이 받는 분말야금법을 위해 디자인 되어 있다. 본 연구에서도 도입한 인서트의 모델도 일반 분말야금법을 위한 것이다. 분말사출성형에 의한 인서트의 제조가 더욱 경쟁력을 갖기 위해서는 분말사출성형용 고기능성 인서트의 디자인이 개발되어야 한다.

## 5. 결 론

분말사출성형에 의한 초경 인서트의 제조 가능성을 확인하는 목표 아래 본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 분말사출성형에 의해 제조된 초경 밀링 인서트의 치수 정밀도는 75%수율 기준으로 0.2%, 100% 수율 기준으로 0.4%로 나타났다.
2. 분말사출성형 공정에서 초경의 잔류탄소량은 제어는 열적 결합제 제거 공정에서 이루어져야 한다. 초경의 잔류탄소량은 열분해 분위기에 가장 큰 영향을 받았고 수소와 질소의 혼합가스 분위기에서 열분해시 안정적으로 잔류탄소량의 조절이 가능하다.
3. 분말사출성형에 의해 제조된 밀링 인서트 소결 후에도 절단날, 측면 날 및 고정구멍 모서리 등이 디자인 했던대로 유지되어 재가공 없이 사용하기에 충분하였고 미세조직 또한 매우 균일하게 나타났다.
4. 분말사출성형에 의해 초경 절삭 공구의 제조가 가능하여 일반 분말야금법에 의한 초경 절삭 공구의

대치가 충분히 가능할 것으로 판단된다.

본 논문을 문인형 교수님의 회갑을 기념하여  
봉정합니다.

### 참 고 문 헌

1. M. T. Martyn and P. J. James: *Int. J. Refractory Metals and Hard Materials*, **12** (1994) 61.
2. S. Uram: *Proc. of the World Congress on High Tech Ceramics*, Milan, June 1986, P. Vincenzini (Ed.), Elsevier, Amsterdam (1987) 2589.
3. R. M. German: MPIF, Princeton, New Jersey (1997).
4. M. Yang and R. M. German: *Advanced in Powder Metallurgy & Particulate Materials-1994*, Vol. **4** (1994) 95.
5. M. Yang and R. M. German: *Advanced in Powder Metallurgy & Particulate Materials-1995*, Vol. **13** (1995) 25.
6. H. Miura, Y. Sakajiri, M. Okada and K. Takari: *Jpn. Soc. Powder Powder Metall.*, **44** (1997) 253.
7. A. Matsuo, S. Sakaguchi and T. Hirayama: *1st Japan-Korea Workshop on Powder Injection Molding-Cheju, Korea*, S. Ahn and Nack J. Kim (Eds.), (1996) 111.
8. 鈴木壽(編著): *超硬合金と焼結硬質材料(基礎と應用)*, 丸善株式會社 (1986).
9. 鈴木壽: *日本金屬學會報*, **11** (1972) 125.
10. H. Suzuki and H. Kubota: *Planseeber. Pulvermet.*, **14** (1966) 96.
11. 鈴木壽 et al.: *日本金屬學會誌*, **31** (1967) 585.