

TiC-WC-Co 복합초경재료의 미세조직 및 기계적특성

Microstructures and Mechanical Properties of TiC-WC-Co Cemented Carbides

한국과학기술원 이경호* · 차승일 · 홍순형
한국기계연구원 김병기

1. 서 론

본 연구에서는 TiC-WC-10Co 복합초경재료의 미세조직과 기계적 특성의 상관관계를 확립하고자 하였다. 이를 위해 조성, powder size, bulk화 공정을 변화시켜 소결 sample을 제조하였다. WC/TiC size 비율과 TiC 함량(0~20wt%)를 변화시켜 WC와 TiC powder size 변화에 따른 결정립 크기 변화, 상변화 등 미세조직을 분석하였고 기계적 특성으로는 경도 및 파괴인성을 분석하였다. 그리고 벌크화 공정조건으로 액상소결(LPS), cold isostatic pressing(CIP), hot isostatic pressing(HIP), sinter-HIP 방법을 이용하여 제조하고 비교·분석하였다.

2. 실험방법

본 실험에 사용된 분말은 WC 4.06 μm , 1.33 μm , 0.57 μm (대한중석), TiC 0.75 μm (대한중석), Co 3 μm (Aldrich Chemical Company Inc.)와 같다. 분말을 weighing 하고 ball-milling에 의해 mixing을 한 후, 200kgf/cm²의 압력으로 compaction하여 성형체를 완성하였다. 성형체를 진공 furnace에 넣어 1375 $^{\circ}\text{C}$ 소결온도를 통하여 각 사이즈 조건, 각 조성 조건을 맞추어 1 시간씩 액상소결(LPS)을 진행하였다. 유기물 제거를 위해 450 $^{\circ}\text{C}$ 조건을 설정하였고, carbon control을 위해 900 $^{\circ}\text{C}$ 조건을 두었다. 또한 cobalt의 eutectic point가 주어진 조성에서 약 1300~1320 $^{\circ}\text{C}$ 정도이므로 1375 $^{\circ}\text{C}$ 조건에서 1시간 액상소결하였다. 냉각은 로냉을 통해 잔여 반응이 충분히 일어나도록 설정하였다. 또한 같은 온도조건에서 HIPing 공정을 통해 기공도를 제어하였다.

TiC-WC-10Co 복합초경합금의 미세조직은 광학 현미경과 주사 전자 현미경을 이용하여 분석하였다. 광학 현미경은 복합초경합금의 단면 관찰을 통하여 기공도를 분석하였으며, 주사 전자현미경을 이용하여 구성상의 grain size, 부피비, 형상 및 분포를 분석하였다.

기계적 특성을 평가하기 위해 Micro Vickers Hardness 장비를 통하여 TiC-WC-10Co 복합초경합금의 경도를 측정하였다. 또한 Palmqvist Indentation Test를 통하여 파괴인성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구를 수행한 결과, TiC-WC-Co계 복합초경재료의 미세조직은 WC-Co 초경재료와는 달리

4가지 상이 공존함을 확인하였다. WC-Co 초경재료는 WC상과 Co-W-C합금으로 구성된 바인더상으로 구성되는 반면, TiC-WC-Co 복합초경재료는 WC상, TiC상, Co 바인더상 이외에 (Ti, W)C상이 존재하였다. 또한 TiC 함량이 증가함에 따라 (Ti,W)C 복합탄화물상 및 TiC상의 부피분율이 증가하는 경향을 보이고 있다. WC상의 부피비가 급격하게 감소하는 반면 (Ti,W)C 복합탄화물상의 부피비가 급격하게 증가함을 확인하였다.

액상소결된 sample과 CIP를 공정 후 액상소결된 sample의 기공도가 약 1~8%까지 부피분율로 측정되었으며, TiC 첨가함량이 증가함에 따라서 기공도가 증가함을 확인하였다. 그러나 HIP 또는 sinter-HIP 공정으로 제조된 복합초경합금 sample에서는 기공의 부피분율 및 크기가 감소함을 확인하였다. HIP 공정으로 제조된 복합초경합금의 기공도가 15wt%TiC까지 가장 낮은 값을 보이고 있으며, 20wt%TiC가 포함된 경우 Sinter-HIP 공정을 이용하여 제조된 복합초경합금에서 가장 낮은 기공도를 보이고 있다. HIPing 공정을 통하여 near full-density를 얻을 수 있었다.

액상소결한 TiC-WC-10Co 복합초경합금의 TiC 함량 변화에 의한 경도변화에서 WC 입자크기에 관계없이 TiC 첨가량이 10wt%까지 증가함에 따라 경도가 증가하지만, 약 10wt% 이상 TiC가 함유된 경우 경도가 감소하였다. 이와 같은 경도의 변화를 분석하기 위하여 벌크화 공정을 변화시켜 기공도를 제어하여 TiC 함량 변화에 따른 경도를 분석하였다. 기공도가 TiC 첨가량에 일정하게 0%에 가까운 HIPing 공정 sample에서는 TiC 함량이 증가함에 따라서 경도가 증가하였다. 따라서 액상소결 sample의 경도감소현상 원인은 TiC 함량이 증가함에 따른 기공도의 증가에 기인한 것으로 분석되었다. 경도에 영향을 미치는 중요한 미세조직 인자로서는 대표적으로 기공도, WC grain size와 TiC, (Ti,W)C 부피비를 들 수 있다. 기공도가 낮을수록, WC grain size가 감소할수록, TiC/(Ti,W)C 부피비가 증가할수록 경도는 증가하였다. 그리고 TiC, (Ti,W)C 상과 바인더 상이 강한 결합을 이루고 있음을 확인하였다.

TiC 함량이 증가할수록 파괴인성은 각 사이즈 조건에서 동일하게 감소하였다. 또한 WC grain size가 감소할수록 TiC-WC-10Co 복합초경재료의 경도는 증가하였지만 파괴인성은 감소하였다. 높은 TiC 함량 (20wt%TiC) 조건으로 갈수록 grain size가 감소할수록 경도는 크게 증가하는데 반하여 파괴인성은 거의 변화가 없이 약간 감소하였다. 낮은 TiC 함량에서는 grain size가 감소할수록 경도는 약간 증가하면서 파괴인성은 크게 감소하였다. 이상에서 볼 때 grain size가 초미세화되면 높은 TiC 함량에서는 파괴인성의 손실을 줄이고 경도를 증가시킬 수 있을 것으로 예상된다. 더불어 향후 초미립 TiC-WC-10Co 복합초경재료의 hardness 강화이론과 toughening mechanism에 대한 이론 정립에 있어서는 더 많은 연구가 필요할 것이다.