

표면침탄된 텅스텐 중합금과 기계적 성질에 미치는 영향
(Surface Carburization of Tungsten Heavy Alloys
and Its Effect on Mechanical Properties)

한국과학기술원 정석우*, 강석중
국방과학연구소 노준용, 백운형

텅스텐 중합금은 장갑판 파괴용 관통자로 주로 사용되는 소재이다. 관통자 소재는 큰 운동 에너지를 이용하여 장갑판을 관통할 수 있고, 발사시 가해지는 큰 응력을 견딜 수 있어야 하므로 높은 밀도와 높은 강도 및 높은 충격에너지를 가져야 한다. 관통자로서의 텅스텐 중합금은 관통자의 표적 충돌시 관통부분의 면적이 늘어나는 mushrooming 현상이 발생하여 운동에너지가 분산됨으로서 관통능력이 저하되는 단점이 있기 때문에 이를 개선하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 텅스텐 중합금 관통자에서 요구되는 기본 물성은 유지하면서 고경도의 brittle한 표면 특성을 부가시킴으로써 텅스텐 중합금의 관통능력을 향상시키고자 하였다. 이는 관통자의 표적 충돌 시 고경도의 표면 물성에 의한 관통력 증가 효과와 더불어 brittle한 표면 물성으로 인하여 관통자의 표면이 잘 떨어져나가지게 함으로써 mushrooming 현상을 억제시킬 수 있을 것으로 기대되기 때문이다. 본 연구에서는 텅스텐 중합금의 표면에 탄화물을 형성시키고자 하였고, 이를 위하여 carbon black 분말과 Cr 분말을 동시에 사용하는 표면 침탄 열처리 공정을 개발하였다. 표면경도와 충격인성을 시험하여 표면 침탄 열처리에 의한 기계적 물성의 변화를 관찰하였고, sub-scale 관통자를 이용한 고속충돌시험을 통하여 관통성을 비교하였다.

평균 입도가 약 $2.5\mu\text{m}$ 인 텅스텐(W) 분말과 약 $3.5\mu\text{m}$ 인 니켈(Ni) 분말, 철(Fe) 분말을 93W-4.9Ni-2.1Fe(Ni:Fe=7:3, 이하 wt%)의 화학 조성 비율로 건식 혼합하였다. 성형 후, 1493°C 에서 3시간 액상소결 후 노냉하였다. 소결된 시편을 표면 침탄 열처리 하였다. 텅스텐 중합금은 그 내부에 미량의 탄소가 존재하면 충격인성이 급격하게 감소하게 된다. 그러므로 본 연구에서는 탄소가 텅스텐 중합금의 표면에만 존재하면서 탄화물을 형성할 수 있도록 하기 위하여 Cr 분말을 이용한 표면 침탄 열처리 공정을 개발하였다. 또한 텅스텐 중합금은 수소분위기에 열처리하면 수소가 고용되면서 충격인성을 저하시키게 되고, 약 1000°C 이하에서 열처리하면 Ni_4W , NiW_2 , $(\text{Ni,Fe})\text{W}$ 등의 중간상 화합물이 생성되어 충격인성이 또한 저하되기 때문에 질소분위기에 열처리한 후 1150°C 에서 수냉 처리함으로써 이러한 충격인성의 저하 요인들을 제거하였다.

표면 침탄 열처리에 의해 표면에는 Cr_7C_3 , $\text{Fe}_3\text{W}_3\text{C}$ 의 탄화물 상들이 생성되었고 표면경도는 평균 710 HV로서 약 40% 증가된 반면, 충격인성은 평균 83J로서 약 30% 감소하였다. 그러나 이 정도의 충격인성 값은 관통자로서 충분한 인성이었다. 또한 표면 침탄 열처리한 충격 시험편은 파단 시 표면으로부터 약 $150\mu\text{m}$ 정도까지만 brittle한 취성과파괴 거동이 일어나고 그 이후로는 일반적인 텅스텐 중합금의 연성과파괴 거동이 관측되었다. 이는 표면 침탄 열처리에 의해 텅스텐 중합금의 표면에만 탄소와 탄화물이 존재함으로써 텅스텐 중합금에 고경도의 brittle한 표면 특성이 부가되었음을 의미한다. Sub-scale 관통자에 대한 고속충돌시험 결과, 표면 침탄 열처리된 관통자가 표면 침탄 열처리되지 않은 관통자에 비해 관통능력이 향상되었다. 이는 관통 초기에 고경도의 표면 물성에 의한 효과와 더불어 관통 중에 mushrooming 현상이 억제되어 관통자의 운동에너지가 덜 분산되었기 때문으로 판단된다. Mushrooming 현상이 억제된 것은 관통 중에 관통 선단부의 아래 표면으로부터 균열들이 다량으로 생성되고, 관통 선단부의 매우 큰 전단 변형을 받는 영역을 따라 그 균열들이 쉽게 전파됨으로써 관통 선단부의 표면이 쉽게 떨어져 나갈 수 있었기 때문으로 생각된다.