

침탄처리된 텅스텐 중합금의 동적 변형거동

(Dynamic Deformation Behavior of Carburized Tungsten Heavy Alloys)

포항공과대학교 항공재료연구센터 김동국* 이성학
한국과학기술원 재료공학과 정석우 강석중

1. 서 론

텅스텐 중합금 관통자의 성능에 중요한 역할을 하는 단열성 전단밴드의 형성은 재료의 열적-기계적 성질에 의해 주로 좌우된다. 변형에 의해 전환된 열이 주위로 쉽게 확산되지 않으면 그 부분에 열적연화를 가속화시켜 또 다른 변형집중을 유발할 수 있기 때문에 우선적으로 열전도도가 낮은 재료에서 단열성 전단밴드가 잘 형성된다고 하겠다. 그러나 텅스텐 중합금에서 90% 이상의 무게를 차지하는 텅스텐은 열전도도가 아주 크기 때문에 텅스텐 중합금에서 단열성 전단밴드가 잘 형성되지 않는 것이다[1-4]. 기계적 성질의 관점에서 보면, 경도가 높을수록 변형집중의 경향이 증가되며 단열성 전단밴드 형성에 유리하다고 하겠다[5,6]. 따라서 본 연구에서는 텅스텐 중합금에 대해서 적절한 충격흡수에너지를 가지면서 경도향상에 의한 단열성 전단밴드 형성 경향을 높이기 위해 텅스텐 중합금 성형체의 표면을 침탄처리하여 동적 비틀림특성을 평가하고 관통시의 변형거동에 미치는 영향을 조사하고자 한다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 텅스텐 중합금의 화학조성은 93W-4.9Ni-2.1Fe(wt.%)이다. 충격흡수에너지를 측정하여 그 값이 일정한 간격이 되는 조건인 1) 액상소결-열처리-스웨이징-시효처리한 시편('AG'로 표기), 2) 'AG' 시편을 600°C에서 case hardening의 방법으로 1시간 침탄처리한 시편('C1'로 표기), 3) 'AG' 시편을 700°C에서 30분 침탄처리한 시편('C2'로 표기), 4) 'AG' 시편을 800°C에서 2시간 침탄처리한 시편('C3'으로 표기)의 4가지 종류의 시편으로 구분하여 제조하였다. 이러한 4가지 시편에 대하여 torsional Kolsky bar를 이용하여 동적 비틀림시험을 실시하고 전단응력-전단변형 곡선을 분석하고 파단면의 파괴모드와 게이지 부의 변형 형태를 주사전자현미경으로 조사하였다. 또한 같은 조성으로 1) 소결처리된 시편, 2) 소결처리 후 700°C, 30분 동안 침탄처리된 시편, 3) 800°C, 5분 동안 침탄처리된 시편의 3가지 시편에 대하여 관통시험을 실시하여 동적 비틀림거동과 관통거동을 비교 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

침탄조건에 따른 X선 회절(XRD)분석 결과, 텅스텐탄화물(WC)은 'C1' 시편에서는 전혀 형성되지 않으나, 'C2' 시편에서 형성되기 시작하고 'C3' 시편에서는 다량 형성되는 것을 X선 회절분석 결과로써 알 수 있다. 표면경도시험과 충격흡수에너지 측정결과 이러한 텅스텐탄화물의 생성거동과 일치하게 'C2' 시편에서 표면경도값이 급격하게 증가하고 충격에너지가 상당히 감소하는 것을 알 수 있다.

동적 비틀림시험 결과 모든 시편에 있어서 항복이후 가공경화 구간이 거의 없이 바로 최대전단응력에 도달하고 응력이 완만하게 감소하며 파괴에 이르는 특징을 나타내며 최대전단응력도 거의

1100 MPa로 비슷하나 최대전단응력에서 파괴에 이르는 동안의 응력감소 정도는 시편에 따라 다르고 특히 'C3' 시편의 경우는 800MPa의 낮은 최대전단응력을 나타내었다. 파면을 분석한 결과 침탄처리하기 전 'AG' 시편의 경우 텅스텐-텅스텐 입자 계면파괴가 관찰되나 전반적으로 기지상이 전단방향으로 급격하게 문드러지는 특징을 나타낸다. 침탄처리조건이 심화될수록 이러한 기지상의 문드러짐은 약화되고 텅스텐-텅스텐 입자 계면파괴 이외에도 텅스텐 입자의 벽개파괴가 더 많이 나타나는 것을 알 수 있다. 텅스텐탄화물이 확실히 형성되는 'C3' 시편의 경우 기지상의 문드러짐은 거의 없고 기지상의 덩플파괴, 텅스텐 입자의 벽개파괴와 텅스텐-텅스텐 입자 계면파괴가 주도적인 것을 알 수 있다. 이러한 기지상의 문드러짐은 텅스텐 입자보다 상당히 연한 조직인 기지상에 변형이 집중되어 나타난 현상이라고 할 수 있다. 따라서 침탄조건이 심화될수록 이러한 기지상의 문드러짐이 약화되고 텅스텐 입자의 벽개파괴의 양이 뚜렷이 증가하는 것은 변형의 집중에 의한 파괴형태에서 응력의 집중에 의한 동적 파괴형태로의 전환을 의미한다고 하겠다. 또한 게이지 부위의 변형 형태를 주사전자현미경으로 관찰한 결과에서도 침탄처리 조건이 심화될수록 파면근처의 변형집중은 감소되고 대신 텅스텐 입자의 벽개파괴 발생빈도와 벽개파괴가 발생하는 파면으로부터의 범위가 증가되는 것을 알 수 있다. 'C3' 시편의 경우는 이러한 벽개파괴 분율이 크게 증가하여 시편이 부서러지는 fragmentation 현상을 나타내었다.

관통시험 후 잔류시편을 관찰한 결과에서도 침탄조건이 심화되는 조건에서 단열성 전단밴드의 형성 빈도가 증가하는 반면 텅스텐 입자의 벽개파괴 분율이 증가되어 관통자의 중간부분에 관통자 진행방향과 수직하게 큰 균열이 형성되는 것을 알 수 있었다. 이는 표면경화로 충격에너지가 감소되어 변형집중 없이 동적 하중 하에서 균열성장이 과다하게 이루어져서 효과적인 관통이 일어나기 전에 관통자가 파괴될 수 있음을 나타낸다. 따라서 고속의 충돌에서도 관통자의 구조를 유지할 수 있는 충격흡수에너지를 가지는 범위 내에서 높은 경도를 가지는 침탄처리가 요구된다 하겠다.

4. 참고문헌

- 1) C.L. Wittman, C.M. Loptain, J.P. Swenson, and T.J. Holmquist: High Strain Rate Behavior of Refractory Metals and Alloys, R. Asfahani, E. Chen, and A. Crowson, eds., Warrendale, PA, (1992) 167
- 2) R.H. Krock and L.A. Shepard: Trans. Metal. Soc. AIME, 227 (1963) 1127
- 3) D.E. Albert, G.T. Gray III, and S. Guha: Tungsten and Refractory Metals-1994, A. Bose and R.J. Dowding, eds., MPIF, Princeton, NJ, (1994) 187
- 4) A. Bose, H. Couque, and J. Lankford, Jr.: The Inter. J. Powder Metall., 28 (1992) 383
- 5) K.T. Ramesh and R.S. Coates: Metall. Trans. A, 23A (1992) 2625
- 6) H. Couque, J. Lankford, Jr., and A. Bose: Tungsten and Tungsten Alloys-1992, A. Bose and R.J. Dowding, eds., MPIF, Princeton, NJ, (1992) 365