

분말단조에 의한 베벨기어의 성형기술 연구
 (Development of bevel gear by powder forging process)
 한국기계연구원 이정환*, 이영선, 이상용, 정형식

1. 서론

분말단조란 일반적인 분말야금법으로 예비성형체를 만든 후 그것을 단조소재로하여 밀폐된 금형에서 정밀열간단조를 통하여 최종제품을 만드는 기술이다. 종래의 분말야금법에 의해 제조된 제품에서는 10~20%의 기공이 존재하므로 단조나 기계가공품에 비하여 충격에너지, 피로특성 및 연성이 낮기 때문에 고강도를 요구하는 구동부품에서는 그 적용이 제한되어 왔다. 이에 반해 분말단조품은 최종 정밀단조 공정을 통하여 진밀도를 얻음으로써 분말야금 부품에서의 기계적 특성의 한계를 극복할 수 있고, 또한 기계가공에 비하여 분말야금의 장점인 합금조성 및 특성의 균일화와 후가공비의 절감 등을 꾀할 수 있다. 특히 베벨기어의 경우는 기계가공비가 많이 들고, 일반단조에서는 공정수가 증가하며, 링 형상으로 인한 피어싱공정이 분말단조에서는 생략될 수 있으므로 분말단조용 대상부품으로 적절하다. 본 연구에서는 베벨기어의 분말단조를 위해 분말합금설계, 예비성형체 설계 및 제작, 소결소재의 변형거동, 단조공정개발, 특성평가 등에 대한 연구를 수행하였다.

2. 실험방법

승용차용 차동장치에 사용되는 디퍼렌셜 피니언기어를 분말단조 대상 부품으로 선정하여 스웨덴 Hoeganaes사의 Astaloy A에 후연분말과 윤활제를 혼합하여 6.5g/cc의 밀도로 예비성형체를 제작하였다. 예비성형체의 형상은 그림 1과 같은 3가지 형태를 선정하여 Computer Simulation과 실제 크기의 금형을 이용하여 Physical Modelling 실험으로 최적형상을 결정하였다.

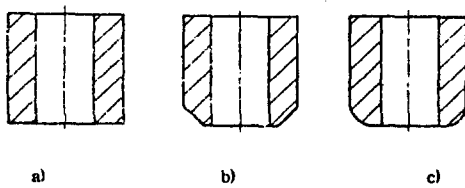


Fig.1 Three different preforms for physical modelling. (a)straight cylinder (b)partial bevel (c)round

소결실험은 피로강도와 같은 동특성에 많은 영향을 미치는 산소농도의 변화를 관찰하기 위하여 소결온도와 분위기를 변수로 하였고, 단조실험은 폐쇄 금형구조를 이용하여 윤활처리 공정과 단조온도를 800, 900, 1000℃로 변화시켜 각각의 가열조건에 따른 최적단조공정을 찾고자 하였다. 분말단조된 시제품은 침탄온도, 유지시간, 템퍼링 온도를 변화시켜 요구특성을 만족시키는 침탄열처리를 수행한 후 밀도, 강도, 조직 등의 특성평가를 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 예비성형체 설계

단조성형시 균일한 밀도 분포와 단조 결합 없이 금속흐름을 유도하고 분말야금으로 제작이 용이한 예비성형체는 Partial Bevel 형태인 것으로 판단되었다. 그림 1의 각 예비성형체별 성형량에 따른 압축, 인장변형율은 그림 2에 나타난 바와 같다.

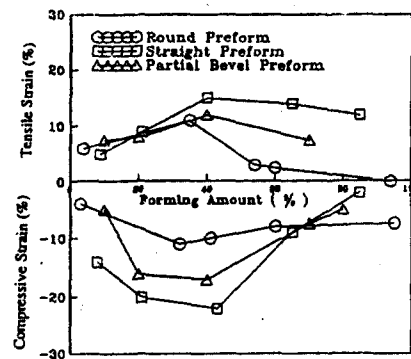


Fig. 2 Compressive and tensile strain according to forming amount of each preform shape

3.2 단조금형과 구조

베벨기어 성형시 성형장치는 Flash 방지를 위하여 보조 유압장치에 의한 폐쇄 금형 구조를 갖도록 그림 3과 같이 설계하였으며 핵심 금형 부품은 그림 4에 나타내었다.

3.3 성형실험

베벨기어의 분말단조시 진밀도 성형을 위해서는 83Kg/mm²의 단조압력이 요구되었으며,

- 1 Upper Punch
- 2 Lower Insert
- 3 Sleeve
- 4 Core Rod
- 5 Preform

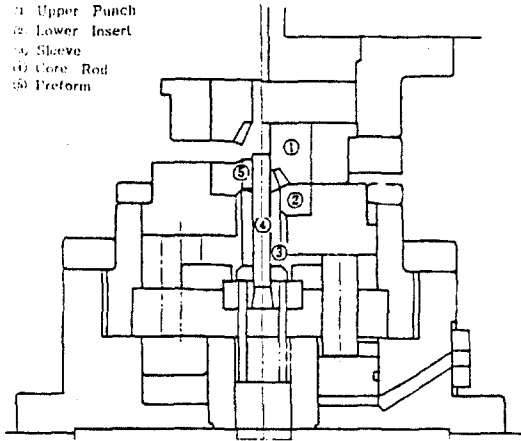


Fig. 3 Schematic diagram of a powder forging die set

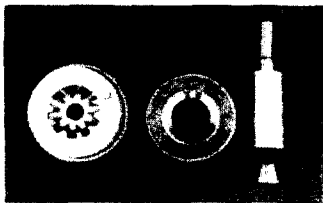


Fig. 4 Forging die insert

단조가열은 분위기 가열이 유도가열 보다는 가열시간이 길게 요구되었지만 표면산화를 방지할 수 있었으며, 수용성 흑연 윤활 피막층은 20~25g/m²를 기준으로 할 경우가 양호한 표면조도와 금속흐름 및 잔여 윤활제에 의한 금형의 코너부 성형 미충진을 방지할 수 있었다. 그림 5는 베벨기어 분말단조시 스트로크별 성형과정을 보여준다.



Fig. 5 Changes of product according to different forming amounts

3.4 열처리 실험

표면경도(Hv 700 이상)와 내부 경도(Hv 300 이상) 및 유효 경화 깊이(0.8~1.0mm)를 만족하는 침탄열처리 조건을 통하여 기어 표면은

내마모성을 내부는 인성을 갖도록 하였으며 열처리 온도와 시간을 변화시켜 열처리 조건을 선정하였다.

4. 결론

직선 베벨기어의 분말단조 기술을 개발하기 위하여 분말합금설계, 최적 예비성형체 설계 및 제작 기술, 윤활처리 및 단조기술, 금형설계 및 제작기술, 열처리 및 특성평가연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 분말합금설계는 경화능과 인성을 고려하여 Fe-Ni-Mo-Mn-C계 합금을 설계하였고, 컴퓨터 시뮬레이션과 모사실험을 통하여 결정된 예비성형체 형상은 부분 베벨기어를 갖는 원추형 중공 원통형상이 표면 균열 방지와 성형금형 제작비 측면에서 가장 유리하였다.

(2) 단조전 윤활시 수용성 흑연윤활제로 윤활처리할 경우, 최적의 윤활조건은 소재온도 200℃, 윤활액 온도 20℃, 침적시간 1초이다. 이러한 조건으로 윤활처리할 경우 윤활층 무게와 두께는 각각 20g/m²,와 7~8μm이었다.

(3) 분말단조 가열시 유도가열할 경우 단조품의 산소농도는 640ppm으로 측정되었고, 분위기 가열의 경우는 460ppm으로 측정되었다. 즉 분위기 가열이 바람직하며 양산시 가열시간을 단축하기 위해서는 분위기 가열용 유도로가 필요하다. 단조온도가 800℃ 이하로 낮거나 금형을 예열하지 않을 경우는 단조시 표면균열이 발생되었다. 단조성형 후 냉각시 제품의 산화를 방지하기 위해서는, 공냉은 바람직하지 않으며 수냉 및 유냉을 하여야 한다.

(4) 단조온도가 약 1000℃이고 금형온도가 200℃일 때, 상대밀도가 99.9%의 제품을 성형할 경우 제품의 표면기공량은 표면부터 0.5mm의 깊이에서 약 0.3~1vol.%의 기공분포를 나타내었으며, 이때 단조하중은 79~83Kg/mm²이 소요되었다.

(5) 단조품의 표면조도 Ra는 제품의 부위에 관계없이 약 12~13μm로 측정되었으며, 이는 열간단조품(Ra 10~30)에 비해 양호한 수준이다.

(6) 탄소농도 1.0 침탄온도 900~930℃, 침탄시간 3.5시간, 템퍼링온도와 시간을 각각 180℃, 3시간으로 선정하여 열처리 할 경우 제품의 내부경도는 약 Hv420, 표면경도는 Hv 800~850, 유효경화깊이는 약 0.8mm로 분석되었고 이는 모두 요구사항을 만족하였다.

(7) 최종 열처리한 시제품의 굴곡강도를 측정 한 결과 최대하중은 56KN, 최대하중까지의 변형량은 2.8mm이었고 이는 기존의 기계가공품에서의 측정결과(58KN, 2.2mm)와 거의 유사한 수준이었다.