

온간성형의 개요와 적용사례 동향

박 준

한국회기내스㈜

1. 서 론

다른 제조 기술과 비교해서 PM의 경쟁력을 향상시키기 위해서는, 합금방법과 마찬가지로 절감된 공정 비용으로 공차의 정확성을 유지 하면서 향상된 기계적 특성을 나타내는 공정에 대한 요구가 있다. 기계적인 특성을 향상시키기 위한 가장 직접적인 방법은 대부분의 특성이 밀도에 의존하므로 밀도를 향상시키는 것이다. 소결 밀도를 증가 시키기 위해서는 많은 선택이 가능하다. 2회 압축/2회 소결, 구리 용침, 더 높은 밀도를 제공하는 분말 단조등의 방법은, 비용과 기하학적 형상을 고려하면 사용하기 거북해 진다. 그러므로, 경쟁적인 생명력을 보유하기 위해서, PM의 경쟁력을 감소시키는 그러한 어떤 부가적인 공정 단계도 더해지지 않는 만족스러운 공정경로가 요구되어 진다. 1994년에 소개되어진 온간 성형공정은 이러한 목적에 부합하기 위한 하나의 가능한 기술이 되기 위해 개발되어 졌다.

온간 성형 기술의 도입은 1회의 성형과 소결에 의해서 7.4 g/cm³에 이르는 균일한 밀도로 PM제품을 생산하기 위한 방법으로서 제시 되어져 왔다. 더 높고 더 균일한 밀도는 정적, 기계적 특성을 향상시킨다. 그러나, 온간 성형은 정적 기계적 특성의 향상에만 기여하는 것이 아니라 같은 밀도에서 일반적인 냉간 성형 제품과 비교해 볼 때, 피로강도와 같은 그러한 동적인 특성들도 향상시켰다. 이것은 현재까지 기술적, 경제적으로 실행가능하지 못했던 고성능 PM제품을 얻을 수 있는 새로운 장을 여는 것이다.

2. 신공정의 이론, 제조공정

2.1 이론적 배경

금속들의 소형 변형에 있어 긍정적으로 미치는 영

향은 잘 알려진 현상이다. 그러므로 실내온도에서 작업한 것보다 높은 온도에서 성형한 압분체가 훨씬 더 높은 밀도를 얻을 수 있다.

그림 1은 ASC100.29의 항복 강도에 온도가 미치는 영향을 보여준다.

결과적으로 적절한 온도에서 데워진 분말압분체가 실내온도에서 작업한 압분체보다 고밀도를 얻을 수 있다.

높은 생산성과 정밀한 공차를 얻기 위해서는 분말 혼합물은 상온에서 보통의 압축-일치된 걸보기 밀도와 유동성과 같은 필요조건을 만족시키는 것이 필요하다. 그림 2로부터 분말의 걸보기 밀도와 유동 모두가 매우 안정되어 있고 135°C까지는 온도 변화에 민

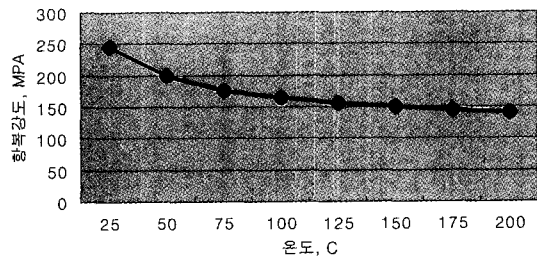


그림 1. 온도변화에 따른 페라이트의 항복점변화.

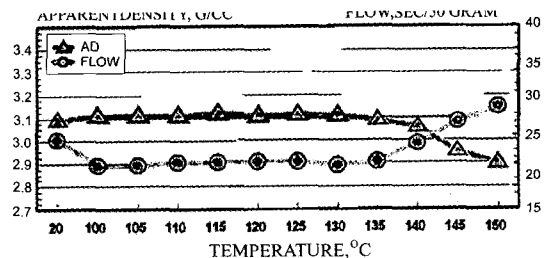


그림 2. 걸보기밀도와 유동성에 미치는 분말 가열온도의 영향.

감하지 않음을 알 수 있다. 그러나 좀 더 증가된 온도에서는 이들 특성들이 변하게 되는데 겉보기 밀도는 감소하고 유동은 증가한다. 즉 분말의 채움이 나빠지게 되고 이로 인해 압축된 부품의 무게와 공차의 산란(scatter)을 증가시킨다. 따라서 온간 성형 공정을 생산에 성공적으로 사용하기 위해서는 분말을 130°C까지, 금형과 상부 펀치는 150°C까지 가열시키는 것이 권장되며 모든 시스템에서 최대 ±2.5°C의 온도산란은 허용된다.

2.2 제조공정

Densmix는 상승된 온도에서의 작업을 최적화하는 성형전 혼합에 대한 새로운 기준이다. Densmix는 증가된 온도에서 분말혼합에 좋은 유동성(flowability)과 채움성(filling)을 주기위해 개발된 새로운 윤회시스템을 포함한다. Densmix를 사용한 새로운 윤회시스템은 평상시에 해왔던 것보다 더 낮은 윤회제 함량 0.6%에서 성공적으로 작동할 수 있도록 특별히 제조된 것이다.

작업방법으로는 분말은 프레스에 있는 저장호파에 옮겨지고 나서 서틀에 이송되기 전에 가열 기구에 옮겨진다. 정확한 온도 범위로 일정하게 도달키 위해서 여러 종류의 가열구조가 사용되어질 수 있다. 그리고 나서 가열된 분말은 튜브를 통해서 서틀에 도달된다. 일반적으로 튜브와 서틀은 열손실을 방지하고 분말의 일정 온도를 보증하기 위해서 가열되고 절연된다.

다이 역시 정확한 온도 범위로 가열된다. 다이는 일정 온도를 유지키위해 다이내에 서모커플이 박힌

저항타인의 히터를 사용하여 가열될 수 있다. 열적부조화로부터 생길 수 있는 금형끼리의 소음을 피하기 위해서 모든 금형들이 같은 온도로 유지되는 것이 대단히 중요하다. 그러므로, 상펀치 조합은 큰 코아로 드조합과 함께 가열되어야만 한다. 하펀치는 전형적으로 직접 가열되지는 않는데 왜냐하면 하펀치는 다이와 연결되어있고 그 다이에 의해서 가열되기 때문이다. 다이로부터 프레임까지의 열전달이 최소화 되어져야 프레스 손상도 막을수 있다는 정도의 주의가 기울여져야만 한다. 만일 필요하다면, 간단한 절연 기술이 다이로부터 인자부에까지 열전달을 제한키위해서 사용될수 있다.

보온 분말은 다이에 공급되고, 성형 작업은 전형적인 분말 야금과 같은 방법으로 계속된다. 그리고 나서 성형품들은 전통적인 방법으로 소결되고, 결과로 고밀도/고기능 부품이 만들어진다.

금형설계라는 측면에서 몇몇 고려할 사항들이 있다. 다이가 약 150°C에서 작동되기 때문에 수축으로 맞추어진 인서트다이를 사용할때 주의를 기울여야 한다. 정확한 수축이 다이에 적용되어야 하는데, 이래야 다이의 인서트가 충분한 압축부하에서도 남아있게 된다. 부가적으로 이 공정은 전에 가능했던 것보다 훨씬 더 높은 밀도를 제공한다.

3. 적용사례

3.1 헬리컬 기어

PM부품에서 밀도의 분포는 항상 많은 고려의 대

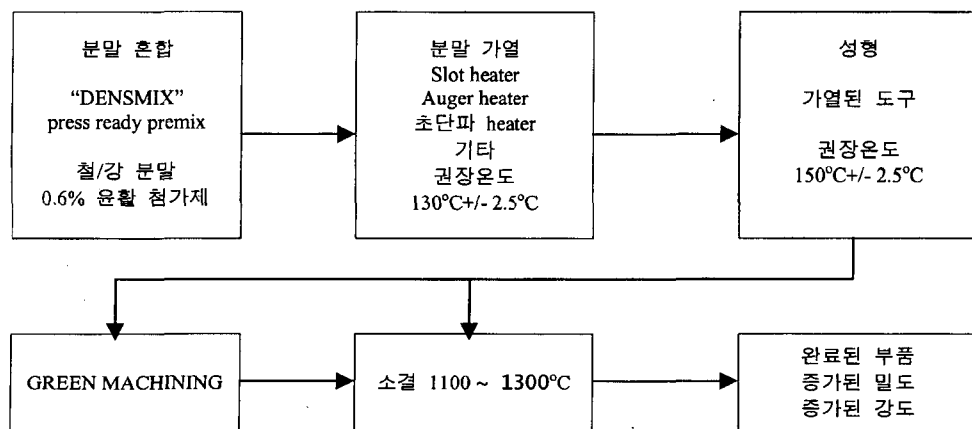


그림 3. 온간 성형 공정의 개략적 개요.



그림 4. Helical gear for percussion drilling machine.

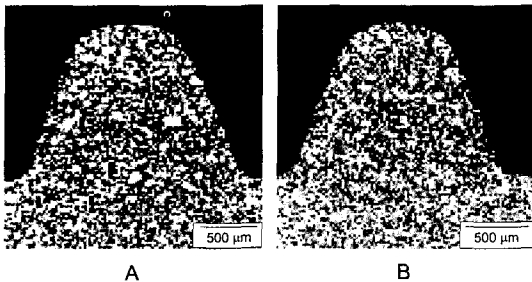


그림 5. 헬리컬 드릴링 머신 기어의 치형 부위에 밀도 분포. A: 일반성형 B: 온간성형.

상이다. 온간 성형 기술은 더 높은 수준의 밀도에 도달하는 장점을 제공한다. 이러한 더 높은 밀도 수준을 완전하게 사용하기 위해서 부품 내의 밀도 편차가 감소 될 수 있다면 또한 유리할 것이다. 이것은 특히 대부분의 기어류나 싱크로나이징 부품들에 중요하다.

그림 5에 보여지는 헬리컬 기어는 치형 부위 강도의 높은 요구치와 함께 복잡한 형상을 연제시켰다. 이 독특한 기어는 600와트의 힘을 가진 휴대용 진동 드릴 머신(percussiondrill machine)의 드라이빙 샤프트(driving shaft)를 작동한다. 이런 종류의 기어류는 항상 전형적인 PM부품이었으나 온간성형이 소개 될 때 까지는 $7.25\text{--}7.30\text{ g/cm}^3$ 의 밀도를 갖는 무-치형부위의 원료 부품으로써 제조 되었다.

PM 방법으로 제조를 완성하기가 불가능 했던 이유는 두가지 였다. 첫째, 25° 의 큰 헬리컬 기어의 각을 가진 치형 부위에서 기대했던 밀도의 손실이고, 둘째가 25° 에 이르는 우수한 기울기 각을 가지고 있

는 헬리컬 기어의 성형에 대한 효율적이고 제어 가능한 장비 시스템이 존재하지 않았다.

이 기어의 제조는 몇 년 전에 온간성형으로 성공적인 대체가 되었다. 그렇게 됨으로써 한번의 성형과 소결 후에 이미 치형 부분의 충분한 밀도를 얻는 것이 가능해 졌다. 그 후에 500,000이상의 부품이 성공적으로 생산되어 왔다. 사용된 분말은 DistaloyAB를 원료 분말로 0.3%의 탄소를 첨가한 DensmixTM이다. DistaloyAB는 1.75%Ni, 1.5%Cu, 0.5%Mo를 함유한 높은 성형성을 갖는 확산 접합 분말이다. 그 기어는 $7.20\text{--}7.25\text{ g/cm}^3$ 의 밀도에 도달되는 것을 목표로 600 MPa의 성형 압력으로 성형되었다.

기어 내의 밀도의 분포는 위의 그림 5의 A와B에서 보여진다. 그림 5B에서 보여지는 바와 같이 온간 성형된 기어에서 밀도의 균일성은 중심부와 치형 부위 사이가 대단히 유사하다. 이와 비교해서 그림 5A의 일반성형으로 얻어진 것은 밀도가 훨씬 낮으면서 불균일 하다.

3.2 싱크로나이징 링(synchronizing ring)

싱크로나이징 부품은 현재 PM에 의해 이미 넓은 범위로 생산되고 있지만, 여전히 많은 수가 강도 때문에 일반 강으로 생산되고 있다. 기계적인 강도가 온간성형에 의한 밀도의 증가를 통해 향상 될 수 있기 때문에, 더 높게 응력을 받는 많은 부품들이 PM으로 변환되는 것이 가능할 것이다. 이어서 싱크로나이징 링의 PM으로의 성공적인 변환이 설명될 것이다.

그림 6에 보여진 싱크로나이징 링은 높은 강도와 함께 미세한 공차를 높게 요구하면서 복잡한 형태를 가지고 있다. 이것은 작은 운송 트럭의 뒷바퀴 드라이브 기어박스에 5개 기어에 사용되어진다. 전달되는 토크(torque)는 270 Nm이다. 바깥 지름은 92 mm, 안지름은 78 mm 그리고 높이는 8.5 mm이다. 부품 내의 성형 후의 밀도가 매우 중요하기 때문에, 좋은 치수 공차를 유지하면서 양산 규모로 제조하는 것은 어려울 수 있다. 그러므로, 온간 성형을 사용한 이런 복잡한 부품의 생산은 이 기술 능력에 대한 좋은 측정이다.

싱크로나이징 링은 온간성형되고 이후에 고온소결과 진동 구름(vibration tumbling)에 의해 제조되었다. 최종적으로 내 마모성 표면으로서 작용할 목적의 박막(foil)이 링에 용접된다.

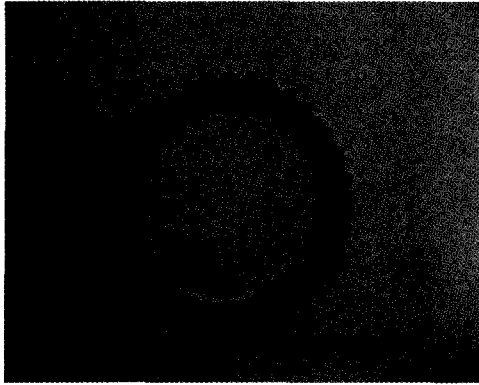


그림 6. 싱크로나이징 링.

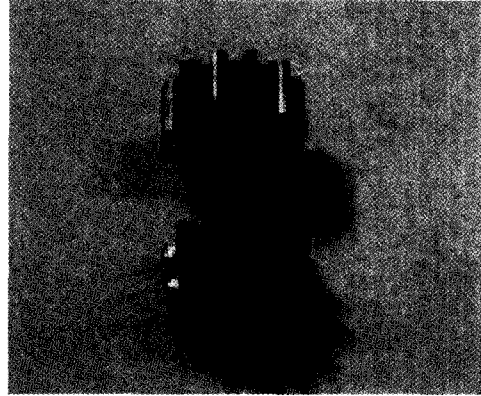


그림 7. Pinion gear.

표 3. 온간성형된 싱크로나이징링의 무게 산포

평균무게, g	54.53
표준편차	0.040
최대무게, g	54.62
최소무게, g	54.43
범위, g	0.19
산포, %	0.30

링은 Dorst TPA 140 기계식 프레스에서 7.20 g/cm³ 이상의 밀도로 6 strokes/min.으로 온간성형 되었다. 장비는 고속도강으로 만들어진 것이고, 가열장치가 다이와 상단 펀치에 설치 되었다. 사용된 분말은 DensmixTM로 준비된 DistaloyAE +0.5%탄소이며 슬롯 히터에서 가열된다. 소결 후에 얻어진 경도는 260 Hv10를 초과했고 2차 열처리 공정이 불필요 했다.

알맞은 재료의 선정과 온간성형을 사용함으로써 요구되는 경도와 강도를 만족시키며 비용절감에 효과적인 한번의 성형과 소결 공정으로 이 복잡한 부품이 성공적으로 제조가 현재 가능하게 되었다.

3.3 피니언 기어(pinion gear)

아래의 그림 7에 보이는 피니언 기어는 전동공구 용도에 사용되어진다.

이 기어에 사용된 분말 조성은 DistaloyAE에 0.5%탄소를 혼합한 것이다. 기어는 45 ton 기계식 Dorst 프레스에서 1분에 14번의 생산 속도로 7.35 g/cm³의 밀도에 도달하기 위해 650 MPa의 성형 압력

을 사용하여 성형되었다.

허브(hub)내의 밀도의 분포가 또한 조사 되었다. 0.05-0.10 g/cm³의 밀도 편차가 얻어졌다. 같은 성형 압력 650 MPa을 사용한 실온에서의 일반적인 성형과의 비교 실험은 더 낮은 전체 밀도 7.10 g/cm³에서 0.10-0.20 g/cm³의 훨씬 더 넓은 편차 범위를 보였다.

이 기어의 연속 생산에서 얻어진 중량 산포는 0.50% 이하인 것으로 나타났다.

4. 결 론

온간성형 공정을 DistaloyAE와 같은 저 합금 분말에 적용함으로써 이전에는 단지 비용이 많이 발생하는 두 번 성형과 소결 공정으로만 가능했던 정적 동적 특성을 모두 얻는 것이 가능해 졌다. 25이상의 헬리컬 각을 가지고 있는 헬리컬 기어, 피니언 기어 그리고 높은 응력을 받는 싱크로나이징 링이 일반적인 강으로부터 PM으로 변환될 수 있다는 것이 설명 되었다. 이런 종류의 부품이 부품 내의 작은 밀도 편차와 함께 치수 공차와 중량 공차도 모두 잘 제어가 되면서 양산에서 7.25-7.35 g/cm³의 밀도 범위내에서 효과적인 가격으로 제조하는 것이 이제는 가능해졌다.

미래에 PM의 사용 범위를 넓혀갈 새로운 고강도 적용품에 대해 기술적인 면과 경제적인 두 관점에서 복잡한 부품의 생산이 온간성형을 이용함으로써 가능하다.