

자동차용 소결단조 부품 연구 (Research of Powder-Forging Part for Automotive Applications)

현대자동차 임종대*, 정림호, 추광명, 임태원

1. 서론

소결 단조 기술은 부품 내부에 기공의 존재로 인해 일반 소결 부품이 가지는 충격치, 인성 및 강도상의 한계점을 극복하기 위해 개발된 소결 합금제조 기술과 정밀 단조 기술의 합성된 기술로써, 일반적인 분말 성형법으로 예비 성형체를 만든 후 그것을 환원 분위기에서 가열하여 소결한 후 밀폐된 금형에서 정밀 열간 단조하여 최종 제품을 만드는 부품 가공 기술이다.

소결단조 부품은 종래의 분말야금 기술이 갖고있는 높은 재료 회수율, 높은 치수정밀도, 높은 합금 설계자유도 및 균일한 금속조직의 특성을 유지하면서 진 밀도(Full Density)화에 의해 높은 기계적 특성을 가질 수 있으므로, 최근 미국·유럽을 중심으로 자동차 부품에의 적용이 급격히 증가하고 있으며, 당사에서도 국제적인 경쟁력 확보차원에서 수년전부터 본 기술의 적극적인 도입을 위한 다양한 연구를 추진해온 결과 현재는 양산 적용단계에 이르렀다. 본 고에서는 소결단조 부품중 적용효과가 가장 크고 기술적인 면에서도 고도의 기술이 요구되는 Con-Rod에 대한 적용효과, 경제성 및 기계적 특성을 위해 실시한 다양한 시험 내용을 기술하고, 기타 부품으로의 확대 적용 가능성을 제시하고자 한다.

2. 개발 방법

(1) 개발 절차

우선, 개발 타당성 검토를 위해 소결단조의 기술 개발 동향 및 특허를 조사하고, 현 재질과의 원가 비교 중량 분석 및 설비 투자비 검토를 통하여 타당성을 확보한 후, 기초 물성 시험에 의해 얻어진 소결단조 소재의 여러 가지 물성과 소결단조재의 치수 및 형상적인 특성을 고려하여 개략적인 형상 설계를 하였다. 이렇게 하여 얻어진 초안에 대해 유한 요소 해석을 실시하여 강성 보완 및 상대 부품과의 간섭 문제 등을 검토하여 최종형상을 확정하고, 시제품을 제작하였다. 시제품은 우선 단품 피로 시험에 의해 피로 강도등 기존재료와 비교 평가하여 우위를 확인한 후 대상엔진내구 및 실차시험에 의해 내구성을 평가하고 양산 적용을 결정했다.

(2) 제조 공정

원료 분말은 Fe-Cu계 대비 소입성이 우수한 Fe-Ni-Mo-Mn계의 Atomized 분말을 사용하였으며 성형체의 형상은 Up-Setting대비 치수 정밀도가 우수한 Repressing 단조에 대비한 형상으로 성형하였다. 성형시 Toyota등의 타회사 대비 특이한 사항은 대단부 내경을 진원으로 하며 Cap과 Rod의 분할 면에 Sharp-Edged Groove를 설치하고, 단조시 Groove를 더욱 더 내면으로 진전시킨 후 나중에 기계적으로 분할 면을 파단시키는 Fracture Splitting 법을 채택했다. 성형체는 대소단부 중량 Check후 환원 분위기에서 소결한후 소결열을 이용하여 열간단조하는 직접 단조 방식을 채택하

여 에너지 효율을 극대화 하였다. 단조 소재는 고온에서 표면이 산화되지 않도록 질소 분위기에서 냉각후 Sand Blast 및 비파괴 검사를 거쳐 결함여부를 확인하고 나서 가공 Line으로 이동하여 마무리 가공 및 Fracture Splitting하여 완성품이 제조된다. 기계 가공시 열간 단조 대비 소재의 치수 정밀도가 매우 우수하므로 가공공수가 대폭 절감된다.

3. 개발 시험 결과

(1) 소결단조와 Steel 열간단조의 가공 공수 비교

구 분	분말 단조	열간 단조
소재 공정	분말성형/소결 및 단조(1회)등 6공정	소재가열, 단조(5회), 열처리등 7공정
가공 공정	Bolt Hole Drill'g, Fracture-Splitting등 9공정	양면Grind'g, Broach'g등 14공정

(2) 부품 중량 및 치수정밀도 비교

항 목		비조질 단조	소결 단조
중량편차(g)	대단부	-	±1.0
	소단부	-	±0.5
	전체	±12	±0.8
진원도(μm)	Center부	9.23	4.9
	Lug부	10.47	1.6

(3) 인장 및 단품 피로 강도

구 분	기존 재질				개발 재질	
	열간단조강 (S48CM)		비조질단조강 (S45CVMn)		소결단조강 (W-70)	
	Spec.	실측치	Spec.	실측치	Spec.	실측치
인장강도(kgf/mm ²)	75 ↑	76*	85 ↑	96	71 ↑	81*
항복강도(kgf/mm ²)	50 ↑	49*	55 ↑	58	45 ↑	54*
신 율(%)	15 ↑	23*	12 ↑	19	10 ↑	14*
단품피로강도(KN) → 10 ⁷ cycles	-	32.8	-	36.0	-	35.8

4. 고 찰

상기와 같은 시험결과에 따라 기존재 대비 우수한 기계적 특성을 확인하여 신뢰성을 확보하였을 뿐만 아니라 설비 투자와 경량화·원가 측면에서도 유리한 소결단조 Con-Rod의 양산 적용을 결정했으며, 금후 Synchronizer-Ring, Outer Race, Inner Race, Pressure Plate 등에 확대 적용 예정이다.