

열처리 및 소성변형을 고려한 자동차 구동축 부품의 기계적 성질평가

이광오* · 박재웅* · 제진수**

Estimation of mechanical properties of driving parts for automobile considering heat treatment and plastic deformation

K. O. Lee, J. U. Park and J. S. Je

Abstract

Since Outerrace is one of the components of driving shaft for power train of automobile and transmits high torque, high strength and high toughness are necessary so forging process is adopted to manufacture such parts. Therefore, in order to improve strength and toughness, heat treatment is accomplished after plastic deformation(forging). Because Each component of driving shaft is mounted to automobile after a series of forging, machining and heat treatment, in order to evaluate mechanical properties of such components in use, plastic deformation and heat treatment must be considered. So, in this paper, tensile tests are performed with tensile specimens which have passed through a series of upsetting, machining and heat treatment to evaluate mechanical properties of such components.

Key Words : Driving Shaft For Automobile, BJ Outer Race, TJ Outer Race, Forging, Mechanical Properties, Heat Treatment, Plastic Deformation

1. 서론

국내의 단조기술은 최근 비약적인 발전을 거듭하여 왔고, 개발의 초기단계에서는 일본, 독일등 선진국으로부터 공정 및 금형설계 기술을 도입하였지만, 현재 독자적인 기술개발 및 생산경험을 바탕으로 자체적인 기술을 보유하게 되었다. 최근에는 CAE(Computer Aided Engineering)를 활용하여 공정설계 및 금형설계의 시행착오를 줄이기 위한 노력과 금형수명 향상을 위한 다양한 방법의 연구 및 고정밀도의 정밀정형(Net Shape)단조 기술의 개발에 대한 연구가 진행되었다(1~4).

자동차 구동축의 등속조인트 부분은 높은 동력을 전달하는 부분으로써 고강도와 고인성이 요구되기 때문에 현재 대부분의 생산현장에서는 단조 공법에 의해 생산되고 있다.

자동차 구동축의 등속조인트 부분은 높은 동력을 전달하는 부분으로써 고강도와 고인성이 요구되기 때문에 현재 대부분의 생산현장에서는 단조 공법에 의해 생산되고 있다. 구동축은 구동축은 BJ Outer Race, TJ Outer Race, Inner Race, Trunnion, Shaft등의 단품들로 구성되며, 이러한 단품들은 고탄소강 및 합금강들로 만들어진다. Outer Race의 경우, 온간+냉간의 복합단조공정에

* 포항공과대학교 기술개발부

** 경상대학교 수송기계공학부

의해, Inner Race, Trunnion은 냉간단조 공정에 의해, Shaft는 기계가공을 통해 생산된 후 열처리를 거쳐 습동부품으로 사용된다. 따라서 각 단품마다 서로 다른 변형이력을 가지게 되며, 이로 인해 열처리 공정을 거치면서 서로 다른 기계적 성질의 변화양상을 보이게 된다. 따라서 실제품의 기계적 성질을 파악하기 위해서는 최종 제품을 시편으로 채취해 시험을 위해서는 최종 제품을 시편으로 채취해 시험을 수행해야 할 것이나 실제 제품을 인장시험편으로 만드는 것은 불가능한 것이다. 그러므로 본 연구에서는 업세팅에 대한 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 실제품의 변형이력을 가지면서 인장시험편 채취가 가능하도록 하였다. 열처리 공정 또한 실제품에 적용되고 있는 고주파 열처리(Outer Race, Shaft에 적용)와 침탄담금질(Inner Race, Trunnion) 열처리 사양을 그대로 적용하였다. 변형이력 및 열처리의 효과를 파악하기 위하여 각각의 단품에 대해 변형을 가하지 않은 소재, 변형을 가한 소재, 열처리를 수행한 소재, 열처리를 수행하지 않은 소재등에 대해서 인장시험을 수행하여 기계적 성질을 평가하였다.

2. 제품의 기계적 특성 평가방법

구동축 모듈의 경우의 구동축쪽 등속조인트(Outer race, Inner race, Ball bearing), 구동축쪽 등속조인트(TJ Outer race, Trunnion) 및 구동축(Driving shaft)등으로 이루어지며, 각각의 단품들은 조립되어 습동을 하게 된다. 이러한 부품들의 경우, 초기 빌렛에서 소성변형을 통해 원하는 형상으로 성형되며, 후열처리 후열처리(고주파 담금질 혹은 침탄 담금질)를 거치게 된다. 따라서 이러한 소성변형 양상과 후열처리 양상에 따라 구동축 모듈 제품의 수명은 현저한 차를 보이게 된다. 따라서 이러한 변형과 열처리의 영향을 평가하기 위해 업세팅→열처리→인장시험을 수행하였다.

2.1 CAE

구동축 부품들은 단조에 의해 생산되어 지며 일정한 소성변형을 받게 되며 이러한 소성변형의 양에 따라 최종 사용제품의 기계적 특성도 변화하게 된다. 따라서 최종제품의 소성변형량을 시험편에 반영해야 하며, 이를 위해서는 컴퓨터 시뮬

레이션이 필수적이다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 단조시 제품에 발생하게 되는 변형량을 예측하였으며, 그 결과를 Fig. 1(a),(b)에 나타내었다(대표적으로 BJ Outer race에 대해서만 나타내었다. 변형량은 실제 제품의 사용 시 문제가 발생하는 부분(Fig. 1(c))에 대해서만 관심을 두었다.

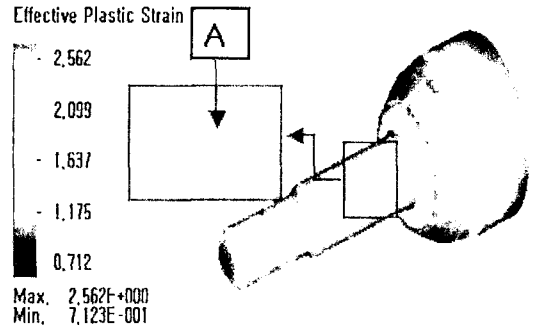


Fig. 1(a) Effective strain from Computer Simulation results for BJ Outer race at region A

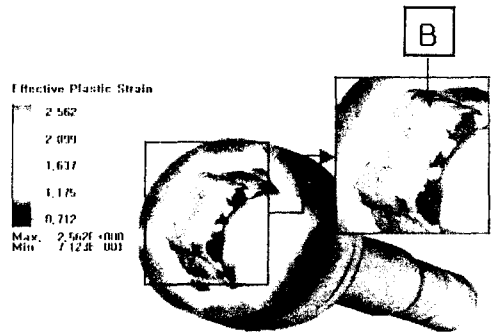


Fig. 1(b) Effective strain from Computer Simulation results for BJ Outer race at region B

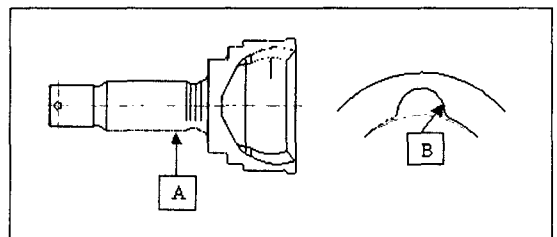


Fig. 1(c) Region of inspection for BJ Outer race

2.2 업세팅(Upsetting) 및 시편가공

단품별 변형률 조사부위(Fig. 2)에서의 변형률(Table 1)을 만들기 위해 단순 업세팅을 실시하였

다. 업세팅은 앞 절에서의 Computer Simulation 해석결과를 바탕으로 단순업세팅 시뮬레이션을 통해 업세팅을 결정한 후 중심부위의 변형율이 원하는 변형율이 될 때까지 압축하였다(Fig. 3). 실제 상황의 재현성을 위해 Outer Race 와 Outer race는 800℃로 가열한 후 업세팅을 실시하였고, Inner Race, Trunnion,은 상온에서 실시하였으며, 업세팅이 이루어진 재료를 인장시험편(ASTM E8M)을 제작했다.

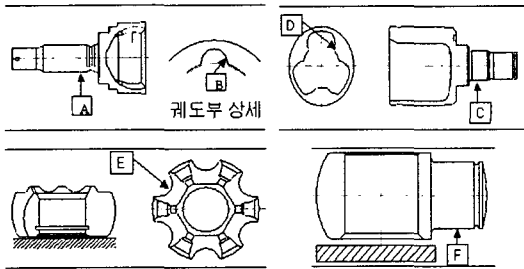


Fig. 2 Inspection region for each component

Table 1 Strain value at inspection region

Part name	Symbol	value	Remark
BJ Outer race	A	1.35	Setting to 1.8
	B	1.8	
TP Housing	C	1.8	Setting to 1.8
	D	1.85	
Inner Race	E	1.85	
Trunnion	F	1.8	

2.3 열처리(Heat treatment)

실제 사용제품의 경우, 내마모성, 내피로성 향상을 위해 침탄(Trunnion, Inner Race) 혹은 고주파 열처리(BJ Outer Race, TP Housing, Shaft)등의 표면처리를 행하고 있으며, 이러한 열처리에 따른 제품의 수명은 현저한 차이를 보이고 있다. 따라서 이러한 열처리의 효과를 정량적으로 파악할 필요가 있으며, 본 연구에서는 실제제품에 행해지고 있는 열처리방법(Fig. 4)을 그대로 적용한 인장시험편의 인장시험을 통해 그 효과를 확인하고자 하였다.

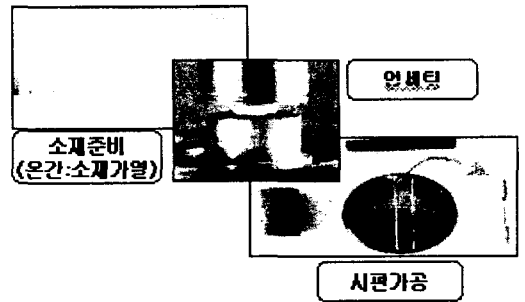


Fig. 3 Production of tensile specimen

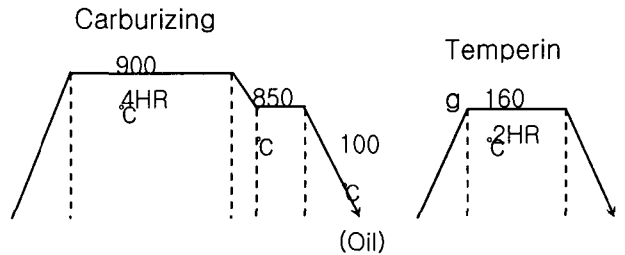


Fig. 4(a) Carburizing process

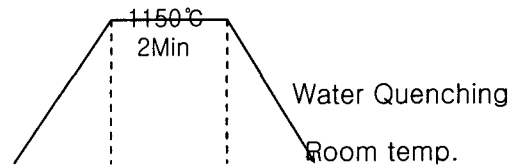


Fig. 4(b) High frequency heat treatment

2.4 인장시험(Tensile test)

소성가공 및 열처리가 부품의 수명에 미치는 영향을 간접적으로 확인하기 위해 단순인장시험을 실시하였다. 인장시험의 결과인 판단연신율, 항복강도 및 최대강도값을 부품 수명의 척도로 삼고자 하였다. INSTRON 8516 을 사용하였으며, 10mm/min 의 속도로 상온에서 실험을 실시하였으며, 그 결과를 Table 2 에 개괄적으로 나타내었다.

Table 2 Results of tensile tests

Material	Treatment Conditions	Fracture Strain	0.2% Offset Yield Strength (Mpa)	Maximum Strength (Mpa)
S53C (BJ, TP)	No Strain, No H/T	0.165	373	791
	Strain, No H/T	0.238	588	786
	No Strain, H/T	0.039	1166	1284
	Strain, H/T	0.044	1220	1453
SCM420H	No Strain, H/T	0.046	1146	1399
	No Strain, No H/T	0.225	343	620
	Strain, H/T	0.051	1236	1579
SCR420H	No Strain, H/T	0.047	1144	1435
	No Strain, No H/T	0.204	367	774
	Strain, H/T	0.049	1071	1510
Euron steel (Shaft)	No Strain, H/T	0.08	943	1878
	No Strain, No H/T	0.17	582	701

S53C(BJ Outer Race, TP housing)에 대한 인장시험결과로부터 알 수 있는 것은 변형으로 인한 강도상승은 거의 없으나 연신율을 상당히 증가한 것으로 나타났으며(열처리 없을 시), 이는 온간 업세팅을 위한 소재가열(800℃)에 의한 풀림(Annealing)효과 때문인 것으로 판단된다.

SCM420H, SCR420H의 경우, 열처리를 통해 2배이상의 강도상승을 나타내고 있으며, 변형을 통해 10%정도의 강도가 상승하고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

열처리 및 소성변형을 고려한 자동차 구동축 부품의 기계적 성질 평가에 관련한 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 구동축 부품들의 기계적 성질을 분석하기 위하여 인장시험을 실시하였다. 실제 사용상의 조건들을 상사시키기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 그 변형량을 추적하였으며, 업세팅을 통해 원하는 변형량을 시편에 가하였다. 또한 현재 실 제품에 행해지고 있는 열처리사이클을 그대로 적용하였다.

(2) 인장시험을 통해 변형 및 열처리에 의한 연신율 및 강도의 효과를 정량적으로 확인할 수 있었다.

(3) 본 연구의 결과는 신개념 구동축 설계시 구동축 완성품의 강도예측 및 구조해석의 기초자료로 응용할 수 있을 것으로 판단되며, 향후, 각 열처리 조건에 따른 제품수명을 마모/피로시험을 통해 정량화시키고, 이를 토대로 제품의 수명향상 방안을 도출하고자 한다.

참고 문헌

- (1) S. Sheljaskov, 1994, "Current level of development of warm forging technology", J.Mat.Proc.Tech, Vol.46, pp. 3~18.
- (2) 이진희, 강범수 1994, "등속조인트 하우징의 냉간단조 공정설계", 대한기계학회 논문집, 제 18권 제 9호, pp. 165~170.
- (3) SI.Oh, W.T. Wu, K.Arimoto, "Recent development in process simulation for bulk forming processes", J. Mat. Proc.Tech., Vol 111, pp. 2~9.
- (4) 김완두 外 3명, 1994, "침탄 및 고주파 열처리 한 치차의 굽힘피로강도 평가", 한국자동차공학회논문집, 제 2권, 제 6호, pp. 1~8.
- (5) 이정환 外 3명, 1997, "냉간단조용 보론강의 냉간단조성 및 침탄특성에 관한 연구", 대한금속학회지, Vol. 35, No.