

소성가공 및 열처리가 기계적 성질에 미치는 영향에 관한 연구

이광오[#], 제진수¹, 김정민², 강성수³

A study on the effect of plastic deformation and heat treatment on mechanical properties

K. O. Lee, J. S. Je, J. M. Kim, S. S. Kang

Abstract

Because CV Joint which is one of the component of automobile power train system communicates high power and performs power steering function, it requires high qualities such as high strength, high toughness and high fatigue resistance. This component undergoes a series of production processes such as forging, machining and heat treatment and required properties for this component depends on plastic deformation and heat treatment heavily. Therefore in this study, in order to these effects on mechanical properties due to plastic deformation and heat treatment we performed heat treatment following plastic deformation and then tensile test.

Key Words : Drive shaft, CV Joint, Plastic deformation, Heat treatment, Mechanical property

1. 서론

자동차 구동축의 등속조인트 부분은 높은 동력을 전달함과 동시에 방향조절 기능을 수행하기 때문에 고강도, 고인성이 요구되며, 따라서 현재 대부분의 생산현장에서는 단조공법에 의해 생산되고 있다[1-2]. 구동축은 BJ 외륜, TP 하우징, 내륜, Trunnion, 축(Shaft)등의 단품들로 구성되며, 이러한 단품들은 주로 고탄소강(S55C)과 합금강(SCM420H, SCR420H 등)으로 만들어진다. BJ 외륜, TP 하우징의 경우, 온간단조+ 냉간단조의 복합단조 공정에 의해, 내륜, Trunnion은 냉간단조공정에 의해, 축은 기계가공을 통해 생산된 후 열처리를 거쳐 실 부품으로 사용된다. 따라서 각 단품마다 서로 다른 소성변형이력(Plastic deformation history)을 가지게 되며, 이로 인해 열처리 공정을 거치면서 서로 다른 기계적 성질의 변화양상을 보이게

된다[4-10]. 따라서 실 제품의 기계적 성질을 파악하기 위해서는 최종제품을 시편으로 채취해 물성평가 시험을 수행해야 할 것이나 실 제품을 시편으로 만드는 것은 거의 불가능에 가깝다. 그러므로 본 연구에서는 소성변형이력을 영향을 고려하기 위해 먼저 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하여 실 제품의 단조 성형시의 변형률을 예측하고, 그만큼의 변형률이 발생하도록 업세팅(Upssetting)을 실시하였다. 제품의 기계적 성질에 대한 열처리의 영향을 고려하기 위해서는 실제품에 적용되고 있는 고주파 열처리(Induction heat treatment : BJ 외륜, TP 하우징, 축에 적용)와 침탄담금질 (Carburizing Heat treatment : 내륜, Trunnion)의 열처리 사양을 그대로 적용하였다. 변형이력 및 열처리의 효과를 파악하기 위해 각각의 단품 재질에 대해 변형유무, 열처리 유무등에 대한 조합 이력을 가진 소재에 대한 인장시험을 통해 기계적 성질을 평가하였다.

1. 경상대학교 수송기계공학부

2. 부산대학교 정밀기계공학과 대학원

3. 부산대학교 기계공학부

교신지자: 포종술후선, E-mail: royalko@empal.com

2. 소성변형 및 열처리

2.1 소성변형 (Upsetting)

구동축 각 부품의 성형단계에서의 소성변형량을 인장 시험편에도 고려하기 위해 각 단품별 성형공정해석을 수행하여 실제 사용시 문제가 되는 부위(Fig. 1)의 변형률값을 산출하였다(Table 1).

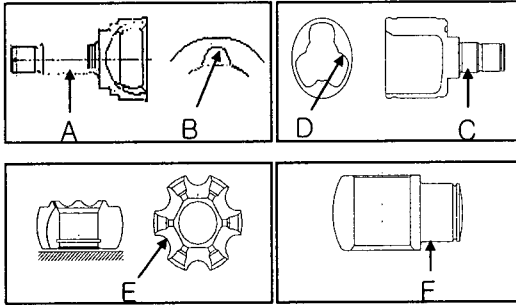


Fig. 1 Measurement location of strain for each part

Table 1 Strain at measurement location

Part name	Symbol	Strain(ϵ)	Remark
BJ Outer race	A	1.35	Select $\epsilon = 1.8$ for distinctive comparison
	B	1.8	
TP Housing	C	1.8	Select $\epsilon = 1.8$
	D	1.85	
Inner race	E	1.85	
Trunnion	F	1.8	

각 부품에 대해 원하는 변형률을 부여하기 위해 업세팅을 실시하였다. 업세팅은 컴퓨터 시뮬레이션을 활용하였으며[11], 업세팅 시뮬레이션도 각 부품의 실제 생산조건과 같은 조건하에서 이루어지도록 하였다. 즉, BJ Outer race와 TP 하우징은 800°C로 가열한 후 업세팅을 실시하였고, 내륜 및 Trunnion은 냉간상태에서 실시하였다. 이러한 특정양의 소성변형을 받은 재료를 가공하여 인장 시험편(ASTM E8M)을 만들었다(Fig.2).



Material Upsetting Specimen

Fig. 2 Specimen from upsetted material

2.2 열처리 (Heat treatment)

실제 사용제품의 경우, 내마모성, 내피로성 향상을 위해 표면경화처리(침탄 혹은 고주파 열처리)를 행하고 있으며(Table 2), 이러한 열처리 방법 및 열처리 공정에 따라 제품의 기계적 특성은 현저한 차이를 보이게 된다. 따라서 이러한 제품 표면 처리의 효과를 정량적으로 분석할 필요가 있으며, 본 연구에서는 실 제품에 행해지고 있는 열처리 사이클(Fig. 3)을 그대로 적용한 시험편의 인장시험을 통해 열처리가 기계적 성질에 미치는 영향을 분석하였다.

Table 2 H/T method and specification for each part

Part name	Material	Heat treatment	Specification
BJ Outer race	S53C	Induction H/T	HRC 58 ~ 63
TP Housing	S53C	Induction H/T	HRC 58~ 63
Inner race	SCR420H	Carburizing	HRC 58~ 63
Trunnion	SCM420H	Carburizing	HRC 58~ 63
Shaft	Boron Steel	Induction H/T	HRC 55~62

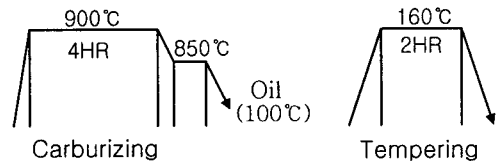


Fig. 3(a) Cycles of applied carburizing heat treatment

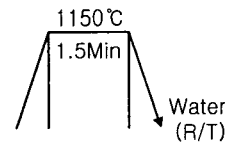


Fig. 3(b) Cycles of applied induction heat treatment

3 인장시험 (Tensile Test)

소성변형 및 열처리가 부품의 기계적 성질에 미치는 영향을 확인하기 위해 단순인장시험을 실시하였다. 인장시험의 결과인 파단연신률, 항복강도 및 최대강도값을 기계적 특성의 척도로 삼고자 하였다. 시험편은 ASTM E8M 규격에 의해 제

작되었으며, INSTRON 8516 장비를 사용하였으며, 상온에서 10mm/min 속도조건으로 실험을 수행하였다. 각 재질에 대한 인장시험결과를 아래의 Fig.4 ~ Fig.8 에 나타내었으며 각 그림에서의 소성 변형은 P/D 로, 열처리는 H/T 로 표현하였으며, 열처리를 소성변형을 실시하지 않은 경우는 “P/D(X)”로 표시하였고, 실시한 경우에는 “P/D(O)”로 구분하였다. 전 강종에 대한 전체적인 결과는 Table 3 에 나타내었다.

Table 3 Results of tensile test for all materials

Material	Test conditions	Fracture strain	0.2%Offset Strength (Mpa)
S53C	P/D(X),H/T(X)	0.165	373
	P/D(O),H/T(X)	0.238	588
	P/D(X),H/T(O)	0.036	1166
	P/D(O),H/T(O)	0.044	1220
SCM420	P/D(X),H/T(O)	0.046	1146
	P/D(O),H/T(X)	0.225	343
SCR420	P/D(X),H/T(O)	0.051	1236
	P/D(X),H/T(O)	0.047	1144
	P/D(X),H/T(X)	0.204	367
Boron	P/D(O),H/T(O)	0.05	1071
	P/D(X),H/T(O)	0.08	943
	P/D(X),H/T(X)	0.17	582

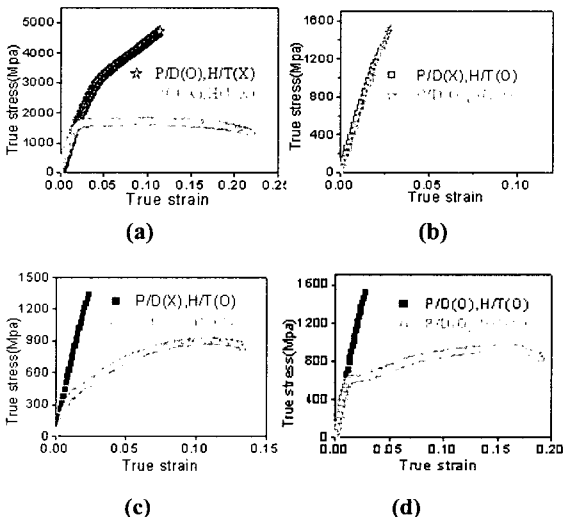


Fig. 4 Stress-Strain Curve for S53C((a)~(d))

Fig. 4(a)에서는 S53C 재질(BJ Outer race, TP Housing)에 대해 소성변형의 효과((a)는 열처리없을 경우, (b)는 열처리를 실시했을 경우)와 열처리의 효과((c)는 변형이 없을 경우, (d)는 소성변형을 가한 경우)에 대한 인장시험 결과를 나타내고 있다. 소성변형으로 인해서는 강도상승은 거의 없으나 연신률은 상당히 증가한 것을 알 수 있다(Fig. 4(a)). 이는 온간 업세팅을 위한 소재가열(800℃)로 인한 풀림효과 때문인 것으로 생각된다. 예상한 바대로 열처리를 실시한 경우, 강도측면에서는 대단한 상승을 보인 반면 연신률을 급격한 감소를 보이고 있다.

Fig. 5에서는 SCM420H(Trunnion)에 대한, Fig. 6에는 SCR420H(Inner race)에 대한 열처리((a) 및 변형의 효과(b)에 대한 인장시험 결과를 보여주고 있다. 열처리를 통해 2 배 이상의 강도상승과 소성변형을 통해 약 10%이상의 강도상승이 발생하고 있음을 알 수 있다. Fig. 7에서는 축(Shaft)용 보론강에 대한 인장시험결과를 나타내고 있다. 보론강의 경우, 열처리 깊이의 영향을 조사하기 위해 시편의 직경을 크게 한 경우에 대한 결과로, 이 결과로부터 실 제품의 경우, 전체 소재 직경에 비해 경화깊이(Hardening depth)가 작기 때문에 연신률측면에서도 그다지 많은 영향을 받지 않으면서도 강도의 측면에서는 2 배 이상의 효과를 낼 수 있을 것이라는 것을 시사하고 있다. 또한, 열처리 사양의 적절한 선택과 소성변형의 효과를 이용하면, 기계적 성질이 우수한 제품을 생산할 수 있다는 것도 알 수 있다.

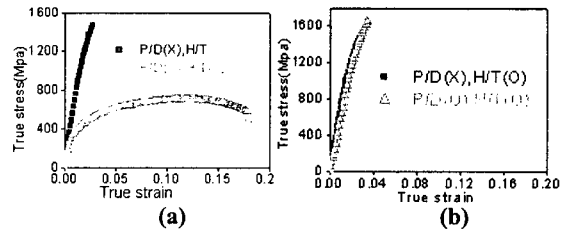


Fig. 5 Stress-Strain Curve for SCM420H((a)~(b))

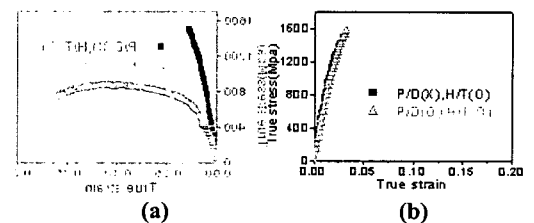


Fig. 6 Stress-Strain Curve for SCR420H((a)~(b))

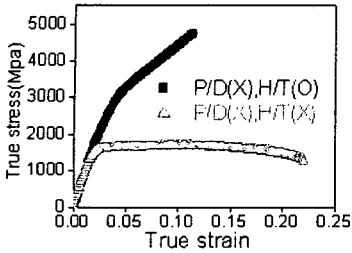


Fig. 7 Stress-Strain Curve for boron(for shaft) steel

4. 결론

자동차 구동축용 각 부품들에 대한 소성변형 및 열처리의 기계적 성질에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위해 소성변형, 열처리 및 인장 시험의 과정을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 컴퓨터 시뮬레이션 및 업세팅 실험을 통해 실 제품의 성형 시 발생하는 소성변형양을 고려할 수 있었다.

(2) 표면경화 열처리를 통해 최소 2 배 이상의 표면강도의 상승효과를 볼 수 있었으며, 소성변형을 통해서도 약 10%정도의 강도상승효과가 있음을 확인할 수 있었다.

(3) 적절한 표면경화 열처리 사양의 선정과 소성변형을 이용함으로써 우수한 품질의 제품을 생산할 수 있음을 정량적으로 확인할 수 있었다.

(4) 본 연구의 결과는 경량 구동축의 강도예측, 구조해석으로의 응용을 통해 경량설계의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 향후, 각 열처리조건에 따른 기계적 특성분석 및 마모/피로 시험을 통해 최적의 열처리조건 및 성형조건을 도출을 통해 우수한 내마모성과 내피로 특성을 가진 제품을 생산하는 기술을 개발해야 할 것이다.

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 등, 1992, 등속조인트 하우징의 냉간단조 공정 설계, 대한기계학회논문집, 제 18 권, 제 9 호, pp.2234~2244.
- [3] C.R.F. Azevedo, 2004, Failure analysis of forged and induction hardened steel cold work rolls, Engineering Failure Analysis, Vol. 11, pp.951 ~966.
- [4] A.Tjernberg, 2002, Fatigue lives for induction hardened shafts with subsurface crack initiation, Engineering failure analysis, Vol .9, pp.45~61.
- [5] Yanyao Jiang, 1998, Stress and fatigue analysis of an induction hardened component, Metals and materials, Vol. 4. No.3 pp. 520~523.
- [6] 이수진, 전형용, 성낙원, 1998, S45C 강의 고주파 열처리 표면경화재 피로한도 예측에 관한 연구, 한국자동차공학회논문집, 제 6 권, 제 1 호, pp. 134~142.
- [7] 박재상, 류을현 등, 2003, 표면개질에 따른 자동차 트랜스미션 기어의 내마멸성 평가, 한국윤활학회지, 제 19 권, 제 2, pp. 78~84.
- [8] 김완두, 최병익 등, 1994, 침탄 및 고주파 열처리한 치차의 굽힘피로강도 평가, 한국자동차공학회논문집, 제 12 권, 제 6 호, pp. 1~8.
- [9] 송삼홍, 최병호, 2001, 고주파 표면경화에 의한 피로강도 특성과 예측에 관한 연구, 한국정밀공학회지, 제 18 권, 9 호, pp.122~130.
- [10] 오세욱, 허정원 등, 고주파 표면경화한 SM45C 강에서 유효경화층 깊이가 피로거동에 미치는 영향, 한국해양공학회지, 제 5 권, 제 1 호, pp.71~80
- [11] S.I.Oh, W.T.Wu, K.Arimoto, 2001, Recent development in process simulation for bulk forming processes, J.Mat.Proc.Tech., Vol. 111, pp.2~9