

열간 형단조에 의한 아이들러 개발에 대한 연구

정호승* · 조종래** · 박희천***

A Study on the Development of Idler by Hot Closed-die Forging

H. S. Jeong, J. R. Cho and H. C. Park

Abstract

Idler of excavator are large product with diameter 500 - 600 mm and parts of a power transmit device. The object of the paper is developed large products by hot closed-die forging. The forging process which is proposed from numerical analysis and various tests is developed a large products with good quality. To estimate the design process parameters such as working load, temperature and flash thickness so on, numerical analysis are used by DEFORM 2D. To obtain a flow stress data and optimal forging temperature is carried out hot compression and tensile test at a various temperature range. Developed product is tested mechanical properties of elongation, hardness and tensile strength so on. Test results are presented excellent mechanical properties.

Key Words : Hot Closed-die Forging, Idler, Microstructure, Mechanical Property, Heat Treatment, Die Design

1. 서 론

굴삭기용 아이들러(idler)는 TRACK LINE의 선회를 유지시키고, 장력을 조절하는 역할을 하며, 스플라켓은 구동축에서 주행체에 동력을 전달하는 역할을 한다. 이러한 굴삭기 부품은 운전 중 높은 하중과 충격을 받으며 심한 마찰이 일어난다. 부품 특성에 맞는 기능을 갖추기 위해선 우수한 강도, 내 마모성, 내 충격성이 요구된다.

국내에서는 직경이 500-600mm가 되는 대형부품을 주조공정에 의해 생산되고 있다. 그러나, 외국(일본,

미국 등)에서는 이 제품의 기계적 특성을 향상시키기 위해서 단조공정으로 생산하고 있다.

열간 형단조품의 제조는 초기 소재의 가열공정과 예비성형체를 위한 자유단조와 형단조를 한 후 트리밍(trimming) 한 후 열처리한다.

이러한 과정에 의한 단조품을 개발하기 위해선 소재의 기계적 특성 파악과 공정설계가 요구된다.

먼저, 소재의 기계적 특성 파악하기 위해 고온 인장, 압축 시험을 하여 온도별 변형과 응력관계, 최적 단조 조건 변수들을 구하였다. 또한 수치해석을 이용하여 예비성형체 설계와 단조에 필요한

* 한국해양대학교 대학원 기계공학과

** 한국해양대학교 기계정보공학부

*** (주) 케이에스피

하중, 성형성 등을 평가하고 단조공정을 설계하였다.⁽¹⁻³⁾

단조 후 공정인 열처리와 표면 열처리를 시험에 의해 최적 조건을 확인하였다.

본 연구에서는 아이들러를 열간 형단조에 의해 개발하기 위해 소재의 기계적 특성, 열처리 시험을 통해 최적의 공정 변수를 선정하고, 유한요소 해석 프로그램(DEFORM 2D)을 성형성 평가와 공정 설계를 하며, 이를 적용하여 우수한 제품을 개발하고자 한다.

2. 소재 특성 시험

2.1 실험 목적

열간 형단조 작업은 소재의 상한, 하한온도 사이에서 이루어지는데 상한온도 이상에서는 소재가 취약하게 되어 표면 터짐이나 내부 균열 등이 발생하고, 하한온도 이하에서는 소재의 강도가 높을 뿐만 아니라 소재가 변형되는 동안에 재결정이 일어나지 않아 변형량 증가에 따른 강도가 높아지기 때문에 성형성 저하에 따른 표면 터짐이 발생하므로 형단조 작업에 있어서 최적의 단조 온도 설정이 중요하다.⁽⁴⁾ 형단조는 제품의 형상을 만들뿐만 아니라 소재의 조직을 미세화 및 균질화하여 제품의 건전성과 기계적 성질을 향상 시킨다. 따라서 단조품의 기계적 특성과 형단조 공정 변수에 미치는 인자인 소재의 고온특성, 가열온도 및 유지시간, 압하 속도 등을 고려하여 실험을 하였다.

본 실험에서는 아이들러 제품 소재에 대한 단조 온도 범위에서 온도별 변형과 응력의 관계, 단조 시작온도 결정을 위한 특성을 조사하여 최적 단조온도 확립과 열처리 조건에 따른 적정 열처리 조건 확립에 있다.

2.2 고온 인장·압축 시험

형단조는 분괴철(bloom) 상태의 주조조직의 거친 조직을 가진 소재를 가열하여 소성변형 시키는 것으로 형단조를 위한 온도 및 고온 물성치를 구하기 위해서는 단조를 하지 않은 분괴철 소재 상태, 즉 거친 주조 조직 상태에서 시험편을 가공하여 시험을 하여 적정 단조 온도를 결정하였다.

소재의 고온 물성치 및 최적의 단조 온도를 결정하기 위해 일본 Fuji 전파사의 열간 가공성 재현 시험장치(Thermemaster - Z)를 이용하여 고온 인장 및 고온 압축시험을 행하였다.⁽⁵⁾ Table 1은 소재의 화학성분을 나타내었고, Fig. 1은 고온 인장 및 압축 시험편 크기이다.

고온 압축 시험은 950℃ - 1250℃ 온도 범위에서 하였으며 모든 시험은 시험편 표면의 산화 방지를 위해 10⁻¹

torr정도의 진공상태에서 시험하였다.

시험편을 10℃/sec으로 목표온도로 가열한 후 2분 유지하고 압축한 후 자연냉각을 하였다. 이때의 압축비는 50%이고 수치해석하기 위해 0.1, 1.0, 10/sec의 변형율 속도(strain rate)로 시험하였고 냉각 한 후 시험편은 표면 상태 및 단면을 절단하여 미세 조직을 관찰하였다.

Fig. 2는 고온압축 유동곡선이며, Fig. 3은 고온 압축 후 시험편의 중심부에서의 미세조직을 관찰한 것으로 1080℃에서 가장 미세하고 균질하게 나타났으며, 1260℃에서는 동적 재결정 후 입자크기(grain size)가 상당히 조대화되어 있는 것을 볼 수 있다.

고온 인장은 700℃ - 1350℃ 온도 범위에서 시험을 하였고 변형율속도를 일정하게 하였다. 인장 강도(TS), 항복강도(YS), 단면수축률(RA) 및 연신률(EI)을 측정된 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

단조 소재는 1300℃ 이상에서 단면 감소를 많이 급격히 감소함을 알 수 있고, 750℃ 이하에선 인장 강도가 증가함으로 형단조에 필요한 압하력이 많이 필요하게 될 것으로 사료된다. 따라서, 최적 단조 조건은 단조 시 표면 터짐이 없고 소성변형이 쉽게 일어나고, 조직상에서도 동적 재결정이 일어나고 Grain size가 조대화 되지 않는 범위가 최적 단조 온도라고 생각된다. 따라서, 최적 단조 조건은 위의 실험결과 1200℃ 에서 단조 하는 것이 가장 적합한 것으로 생각되며, 1250℃ 이상에서는 Grain size 급격히 조대화되기 때문에 1250℃ 이상의 가열과 단조는 피해야 된다. 인장강도 값이 750℃ 이하에서 급격히 증가되기 때문에 형단조 마무리 온도는 750℃ 이상이 적당한 것으로 사료된다.

Table 1 Chemical composition of SAE15B36C (w.t(%))

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.32	0.26	1.28	0.009	0.021	0.5

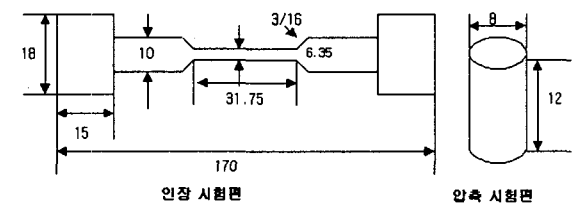
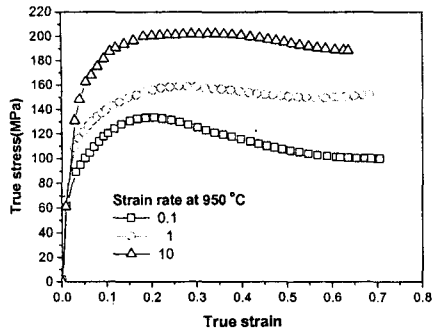
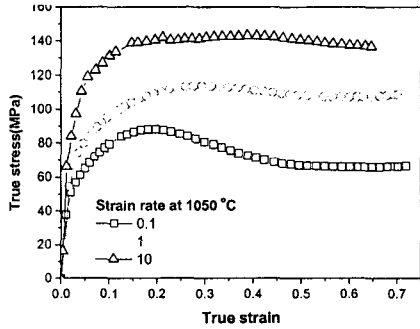


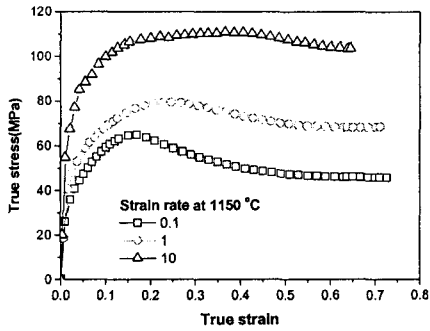
Fig. 1 Schematic of specimen dimension(unit: mm)



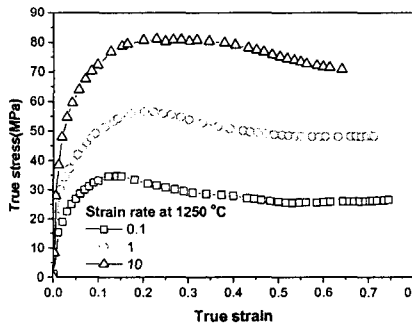
(a) 950 °C



(b) 1050 °C

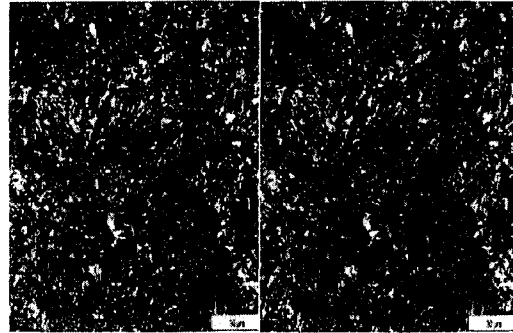


(c) 1150 °C



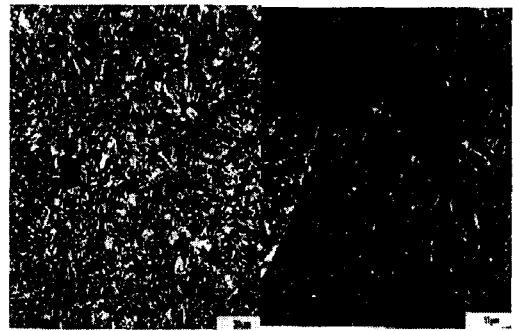
(d) 1250 °C

Fig. 2 True stress-strain curves at various temperatures



(a) 950 °C

(b) 1050 °C



(c) 1180 °C

(d) 1260 °C

Fig. 3 Microstructures of specimen after 50% compressed specimen

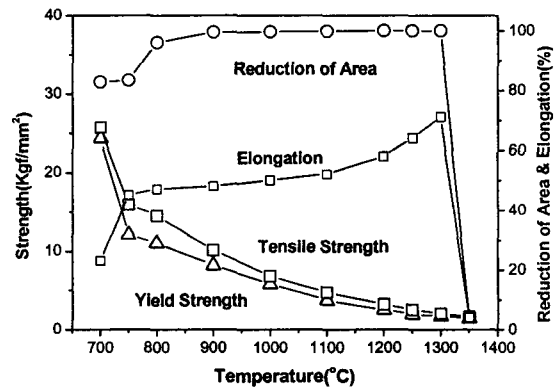


Fig. 4 The representative mechanical properties obtained by high tension test

2.3 열처리 조건 시험

단조 상태로는 경도가 높고, 절삭가공이 어렵고 내부 온도 불균일에 의해 조직이 불균질하므로 불림 (normalizing) 열처리를 한다. 대형 단조품의 열처리는 Ac점 보다 높은 온도 870, 890, 920 °C까지 100 °C/hr으로

가열한 후 1hr/inch로 유지 후 냉각하였다. 각종 기계적 특성 시험으로 최적 열처리 조건을 확립하였다.

기계적 특성과 미세 조직 비교 결과 기존 주조품보다 인장강도와 항복강도는 높고, 경도를 만족하면서 연신율은 같은 정도인 경우 볼립 열처리 온도 890℃ 조건이 적정하며, 미세조직 결과 펄라이트(pearlite)와 페라이트(ferrite) 조직이 볼립 열처리 온도 890℃ 조건에서 가장 미세하고 균질하게 분포됨을 볼 수 있다. 따라서 제품의 최적 볼립 열처리 온도는 890℃가 가장 적정하다.

Table. 2 Comparison of mechanical properties at various heat treatment conditions

Temperature		870℃	890℃	920℃
TS	(MPa)	760	820	830
YS	(MPa)	460	480	520
EI	(%)	25	19	15
RA	(%)	57	44	34
Hardness	(HB)	217	229	241

Table. 3 Comparison of mechanical properties of forging and casting products

Item		Forging product	Casting product
TS	(MPa)	816	614
YS	(MPa)	483	342
EI	(%)	21	18
RA	(%)	47	39
Hardness	(HB)	226	180

2.4 표면경화 열처리

표면경화처리로서의 저, 고주파 열처리의 목적은 기계 구조 부품의 표면을 경화하여 내마모성의 향상과 기계적 성질(특히 내피로성)을 높이는 것이다.

표면경화 열처리는 저고주파유도가열의 방법을 이용하고 피가열물의 표면을 담금질 온도(일반적으로 약 900 정도)까지 급속 가열하고 다시 물로서 급속 냉각하는 것에 의해 표면에 경화층을 만드는 방법이다. 일반적으로, 고주파 열처리는 1-2mm의 깊이로 표면경화가 된다. 그래서 3-5mm의 표면경화를 위해서는 주파수가 낮은 유도가열장치를 사용해야 한다. 또한, 표면경화된 부위의 경도가 45 - 55 HRC 이상이어야 한다. 열처리에 사용된 유도가열장치의 규격은 출력 300KW, 주파수 5-8 KHz이다. Fig. 5는 경화층 깊이를 보기 위해 마크로 에칭이 된

사진이며, 유도가열에 의해 5mm 정도의 표면경화된 부분을 나타내고 있다.

Fig. 6은 3군데 경로로 경도를 측정하였고, 표면경화층의 경도 분포를 나타내고 있고, 적합함을 알 수 있다.

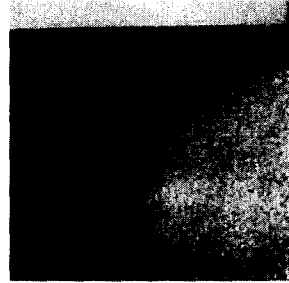


Fig. 5 Photo of macro etching at surface

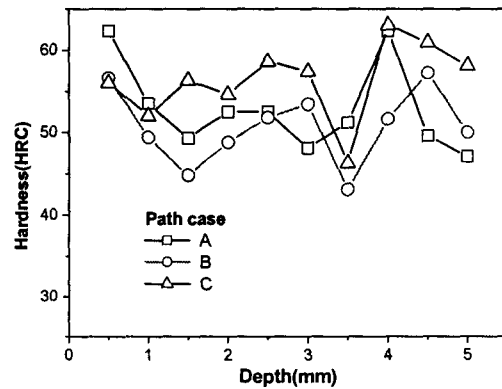


Fig. 6 Distribution of hardness(HRC) at surface hardness region

3. 아이들러 공정설계 및 실제작

아이들러 공정 설계를 하기 위해 먼저 단조품 형상을 모델링 하였다. 이것은 소재(billet)의 체적 및 질량을 계산하고 금형설계를 하기 위한 예비단계이다. Fig. 7은 1차 아이들러 단조품 모델링 형상이며, 그림을 살펴보면 중심축에서 내, 외부는 두께가 두껍고, 가운데는 얇기 때문에 형단조에 있어서 성형성의 문제 및 하중에 상당한 영향이 발생할 수도 있음을 보여준다.

열점소성 유한요소해석 프로그램인 DEFORM 2D⁽⁶⁾을 이용하여 공정 설계를 하였다. 대형 열간형단조는 성형시간이 길며, 모재와 금형사이에 열전달이 발생하여 소재 내부의 온도 차이가 나며, 이런 온도차는 성형 하중에 상당히 영향을 미치므로 비정상 단조해석을 하였다.

해석조건은 초기 소재 온도 1200℃, 금형 온도 30

0°C, 마찰계수 0.5, 금형과 모재의 열전달계수는 8(N/mm/sec/C)로 하였다. 해석 결과로써 Fig. 8은 플래쉬 두께와 하중의 관계를 나타내었고, Fig. 9는 최종 변형형상이다. 이와 같은 결과로써 시제품 제작을 하였다. Fig.10은 열간 형단조에 의한 시제품 형상이다.

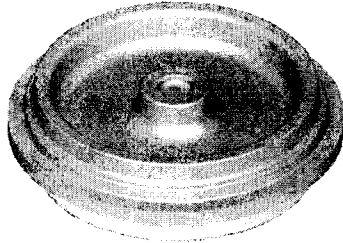


Fig. 7 The appearance of modeled idler shape

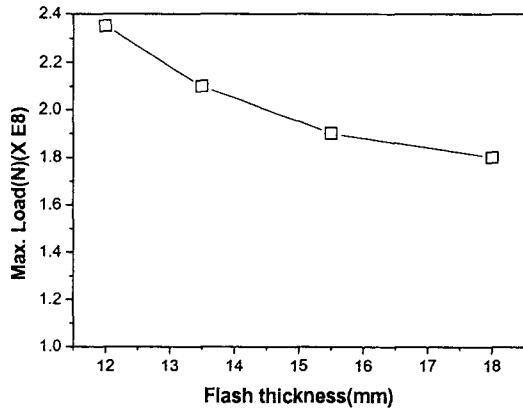


Fig. 8 Maximum load distribution for flash thickness

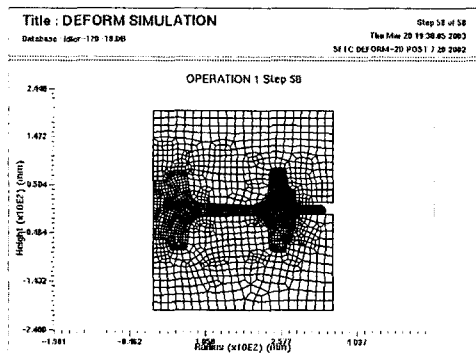


Fig. 9 Deformed shape of finite element model

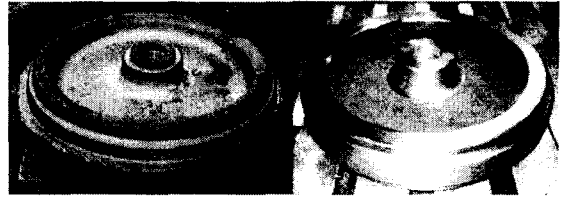


Fig. 10 Idler shape after forging and machining

4. 결론

열간 형단조에 의한 아이들러 개발 연구에 대한 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 소재의 고온 인장, 압축실험에 의해 기계적 특성과 미세조직을 관찰하여 최적의 단조조건을 설정하였다.
- (2) 유한요소해석을 이용하여 비등온 해석을 하여 플래쉬 두께에 대한 성형 최대 하중을 비교하였고, 성형성을 평가하여 이것을 토대로 공정 설계 및 금형을 제작하고 시제품 제작을 하였다.
- (3) 열처리 실험 후 미세조직 관찰에 의해 최적의 열처리 온도를 정하였고, 저주파 열처리에 의해 만족하는 표면 경화 깊이와 경도를 얻을 수 있었다.

후기

본 연구는 산업기술기반 사업의 일환으로 이루어졌으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고 문헌

- (1) T. Altan, S. I. Oh, H. L. Gegel, 1983, "Metal Forming fundamentals and applications", American Society for Metals
- (2) S. Kobayashi, S. I. Oh, T. Altan, 1989, "Metal Forming and the Finite-Element Method ", Oxford University Press
- (3) F. Fereshteh-Saniee, m. Jaafari, 2002, " Analytical, numerical and experimental analyses of the closed-die forging", J. Mater. Process. Technol. ,Vol.125-126, pp. 334-340.
- (4) 이동영, 1999, "소성가공학", 문운당
- (5) 김창주, 1997, "재료시험", 학문사
- (6) DEFORM 2D & 3D manual, SFTC