

더블-액션 압출공정을 적용한 전동조향장치용 토션조인트 요크 개발

김현민¹, 김연구², 박용복[#]

Development of a Torsion Joint Yoke for Motor-Driven Power Steering System Using a Double-Action Extrusion Process

H. M Kim, Y. K Kim, Y. B. Park

(Received August 27, 2012 / Revised November 22, 2012 / Accepted November 26, 2012)

Abstract

The yoke, a component of conventional motor-driven power steering system, often contains welding defects from its manufacturing process. To eliminate these defects, the precision cold forging process has been tried. In this study, the double-action complex forging has been used to manufacture a torsion joint yoke. The backward extrusion proved faster than the forward extrusion in forging of the product. The double-action complex forging process utilized an upper die composed of a punch, a punch guide, a disc spring and a coil spring. The forged material pushes up the punch guide, and then the disc spring and the coil spring balances the backward extrusion force. Consequently, the flow of material was essentially in the forward direction, resulting in a successful forging operation. The forging load of Al 6061-T6 was higher than that of the automotive structural hot rolled plate.

Key Words : Motor-Driven Power Steering, Precision Cold Forging, Torsion Joint Yoke, Double-Action Complex Forging, Split Die, Working Load

1. 서론

단조 성형공정은 소재 및 에너지의 절감과 성형후의 절삭가공을 최소화하고, 실제 제품에 가장 근접한 정형(net shape or near-net shape) 부품을 생산하는 방향으로 발전하고 있다. 정밀냉간단조를 적용하여 재료의 절감, 생산성의 향상 그리고 연속적인 미세조직을 형성하여 부품의 강도를 향상시킬 수 있으므로 부품의 소형화와 경량화를 달성할 수 있다[1~2].

기존의 유압식 파워스티어링 시스템은 차속에

따른 조향력의 변화가 없고, 파워스티어링 오일을 사용하여 환경적 문제가 발생한다.

현재의 전동식 파워스티어링 시스템은 전동 모터를 이용하기 때문에 차속에 따른 조향력을 자동으로 변환시켜주며, 파워스티어링 오일의 미사용으로 친환경적이다. 이러한 시스템에 적용되는 부품은 정밀도와 충분한 강성이 요구되어진다[3]. 이와 같은 조건을 만족시키기 위하여 정밀냉간단조가 필요하다. 정밀냉간단조 성형공정은 전문가의 전문지식을 바탕으로 경험적으로 발달되어 왔으나 최근에는 예비 성형을 통한 후속공정의 최

1. Department of Mechanical Engineering, Kongju National University Graduate School

2. Derim MTI

Corresponding Author : Department of Mechanical Engineering, Kongju National University, E-mail:sungyoung@kongju.ac.kr

소화를 실현하기 위해 강소성 유한요소법으로 해석을 하고 있다[4].

따라서 본 논문에서는 전동조향시스템에 포함되는 Torsion Joint Yoke 를 생산하기 위한 냉간 단조공정을 설계하는 과정에서 DEFORM3D 를 이용하여 공정 해석을 하고 이를 바탕으로 금형 및 펀치를 설계하였다[5].

2. 전동조향장치의 구성부품

2.1 구성부품

Fig. 1 은 전동조향장치의 구성부품인 요크, 샤프트를 보여주고 있다. 가운데의 레진은 제품을 조립할 때 충진재로 쓰인다.

2.2 개발제품의 적용

자동차 조향 시스템은 핸들의 회전운동을 Steering Gear의 Worm Gear에 전달하는 기능을 수행하며, 기본적으로 Shaft, Torsion joint Yoke, Side Body Yoke, Retainer spring, Cross spider, Needle bearing 등으로 구성되어 유니버설기능을 수행한다. Fig. 2는 현재 자동차에 적용되고 있는 조향 시스템을 보여주고 있다.

2.3 기존제품의 상세설명

기존 전동조향시스템에 사용하고있는 부품은 Fig. 3과 같이 요크, 링, 레진, 샤프트로 구성된다. 요크는 절삭을 통한 가공이 아니라 판재를 벤딩하여 용접하기 때문에 한 Cycle에 단 한 개의 제품만 생산되며, 용접부의 결함이 발생할 소지가 있다. 링의 역할은 요크의 회전력을 샤프트에 전달하는 매개체이고, 링은 좌·우 회전력을 전달할 때 마모로 인해 결함이 발생될 수 있다.

요크를 벤딩하면 정확한 진원도가 나오지 않으므로, 샤프트와 요크의 공간을 채워주는 역할을 하기 위해 레진이 사용된다. 그리고 면압을 높여 줌으로써, 샤프트와 요크가 헛돌지 않도록 한다.

결국 벤딩하여 용접하는 방법은 많은 결함의 가능성과 생산성 저하, 단가상승 및 제품의 중량화로 이어진다.

2.4 제품설계

토션조인트 요크는 토션조인트 샤프트와 결합되어, 전동조향시스템의 회전력을 전달하는 부품이다. 이에 Fig. 4 와 같이 제품의 상부에 +모양의 홈을 만들어 결합시킬 수 있도록 한다.

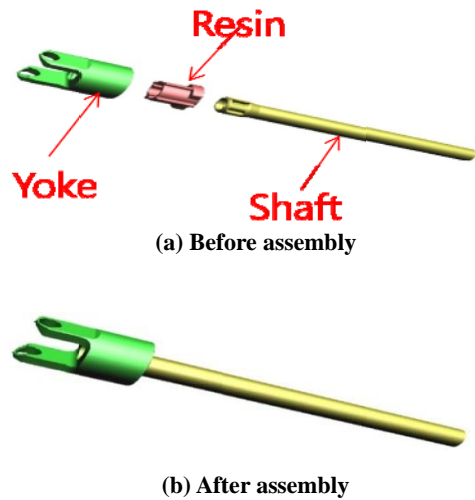


Fig. 1 Components of motor driving power steering

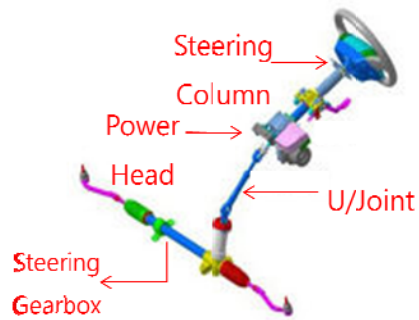


Fig. 2 Motor driving power steering system

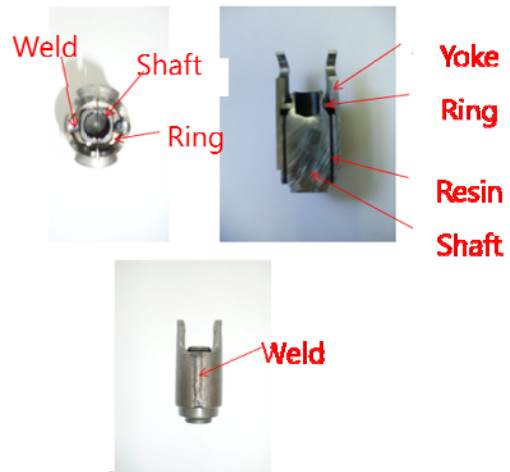


Fig. 3 Existing components of the motor driving power steering

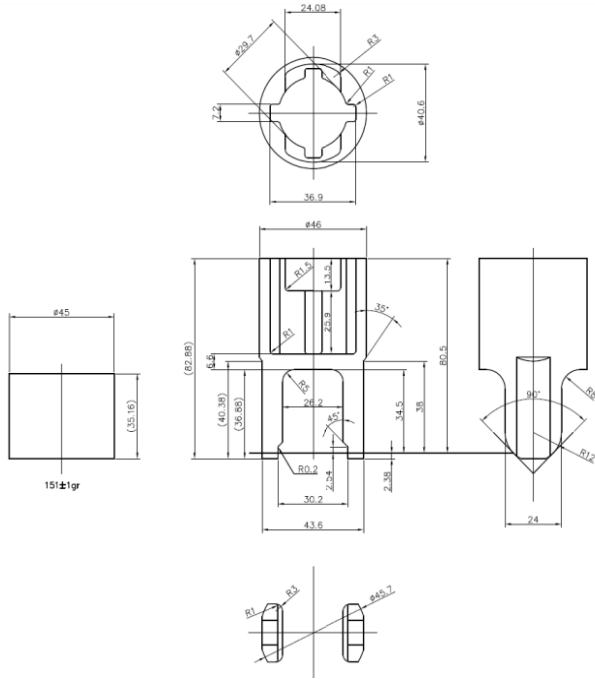


Fig. 4 Dimensions of yoke and forging

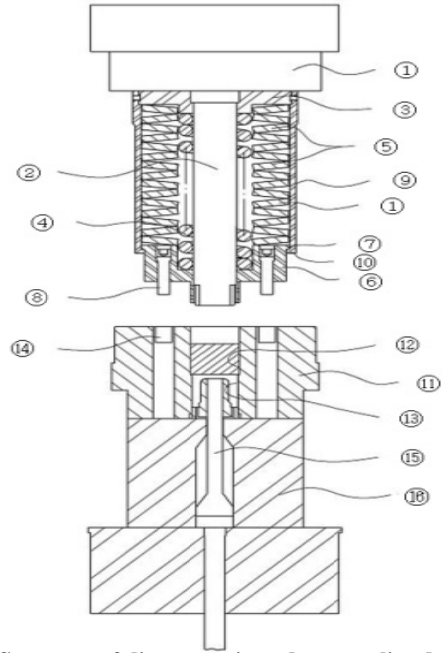


Fig. 5 Structure of die system in order to realize double action complex forging

3. 더블액션단조

3.1 더블액션단조의 구조 및 작동

토션조인트 요크를 성형하기 위해서는 Fig.5 와 Table1 에서 보는 바와 같이 다이 내부에 Al 6061-T6 소재를 안착시킨다. Fig. 5 ① 상부 램을 구동하여 하부로 가압하면, 상부 램에 고정된 Fig. 5 ② 펀치와 Fig. 5 ③ 클램프는 물론, 클램프 하단에 위치한 Fig. 5 ④, ⑤스프링유닛과 Fig. 5 ⑥펀치가이드 및 Fig. 5 ⑨펀치하우징이 함께 하부로 이동한다. 그리하면 요크 상단의 결합부를 성형하기 위한 후방압출작용과 요크 하단의 가이드부를 성형하기 위한 전방압출작용이 동시에 이루어지게 된다.

제품성형 중 전방압출에 비해 후방압출이 상대적으로 더 빠르게 진행되고, 펀치는 계속해서 소재를 가압하게 된다. 이에 소재는 펀치의 가압에 의해 후방압출을 하고자 하는 압출력이 발생하게 되고, 이로 인해 단조소재는 펀치가이드를 상부로 밀어낸다.

또한 Fig. 6과 같이 펀치가이드 상부에 코일스프링과 다수의 접시스프링으로 이루어진 스프링유닛이 구비됨으로써, 코일스프링과 접시스프링들이

Table 1 Description of parts in the die system

1	UPPER RAM	9	PUNCH HOUSING
2	Punch	10	Stopper
3	Clamp	11	Die
4	Coil-Spring	12	Al 6061-T6
5	Disk-Spring	13	Extruding-hole
6	Punch guide	14	Guide-hole
7	Prevent escape	15	Anvil
8	Guide pin	16	Core

자체 탄력에 의해 압축되어, 펀치가이드를 하부로 밀어내는 탄성력을 가하게 된다.

이에 따라, 펀치가이드 상부에서 가해지는 탄성력과 펀치가이드 하부에서 가해지는 압출력이 서로 상쇄됨으로써 펀치가이드는 그 압력작용이 상쇄되는 정해진 위치에서 멈추게 된다.

이와 같이, 토션조인트 요크 제조 장치는 다이 내부에 투입된 단조소재를 한 번의 가압작용에 의해 전방압출과 후방압출이 동시에 이루어져 요크를 생산한다. 결과적으로 공정수를 간소화시켜 생산성을 향상시키고, 추가적인 금형이 불필요하므로 요크 제품의 생산원가 및 단가를 절감시킬 수 있다.

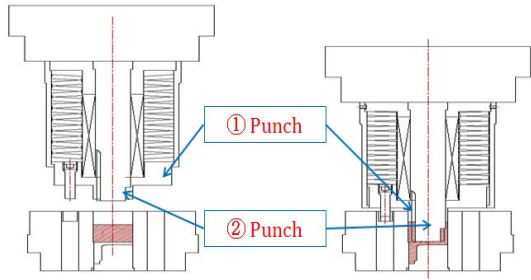


Fig. 6 basic principle of double action complex forging

Table 2 Tensile strength, yield strength and elongation of each material

	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (Mpa)	Elongation (%)
SAPH400	415	345	24
Al 6061	124	55.2	25
Al 6061-T6	330	280	14

3.2 물성데이터 비교

기존의 자동차 구조용 열연강관을 Al 6061-T6 로 대체하면, 제품의 경량화 달성 및 토션조인트 요크의 결함발생요소를 제거할 수 있다. Table 2 는 기존의 소재와 Al 6061, 적용할 소재인 Al 6061-T6(용체화 처리)의 인장강도, 항복강도 및 연신율을 보여주고 있다

소재의 허용하중과 인장강도는 기존의 열연강관에서 Al 6061-T6 로 변경함으로써 떨어진다. 하지만 제품 두께를 조정함으로써, 오히려 기존의 제품보다 사용하중이 97.8 ton 에서 135.3 ton 으로 증대되는 것을 확인할 수 있다. 사용 하중식은 다음과 같다.

$$P = c \quad (1)$$

Fig. 7 과 Table 3 은 실제 제품의 형상 및 사용하중을 보여주고 있다.

3.3 성형해석 결과

전·후방 복합압출공정에서 후방압출의 유동을 전방으로 유도하기 위해서는 펀치가이드가 소재 유동을 가압할 필요성이 제기되었다. 실제의 공정에서는 스프링이 소재를 가압하여 단조를 실시하지만, 성형해석은 이러한 공정을 수행할 수 없으므로 Fig. 8 의 공정이 도출되었다.

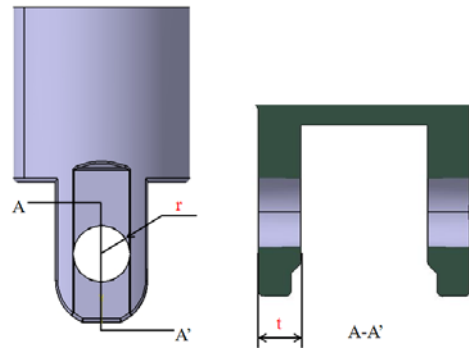


Fig. 7 Shape of developed torsion joint yoke

Table 3 Data of developed torsion joint yoke

	P (ton)	σ(MPa)	r (mm)	t (mm)
SAPH400	97.8	415	15	5
Al 6061-T6	135.3	330	15	8.8

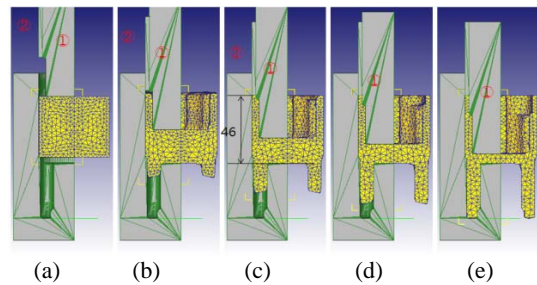


Fig. 8 Detailed process of double-action complex forging

(a)와같이 소재를 안착시킨 후 (b)처럼 ①펀치와 ②펀치 가이드가 동시에 움직여서 요크를 성형한다. 이때 후방 압출이 먼저 이루어진다. (c)에서 요크의 상부 성형이 완료되는 지점인 46mm 에서 ②펀치 가이드는 정지한다. (d)는 ②펀치 가이드의 정지 후 전방압출만 진행되며, (e)에서 성형이 완료된다.

Fig. 9 에서 보는 것처럼 상·하부의 유동속도는 0.02 mm/sec, 1.62 mm/sec 이다. 상부의 유동을 억제하여 하부로 소재를 유도하면 속도의 차이가 발생한다. 따라서 유동의 방향이 하부로 집중되어 미충진 및 접힘 등의 결함은 발생하지 않는다.

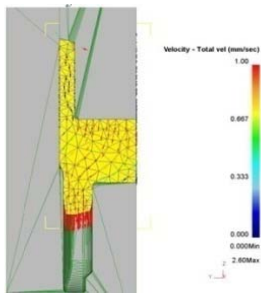


Fig. 9 Flow velocity at contact of material and punch guide

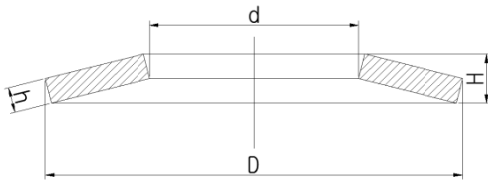


Fig.10 Shape of disc spring

Table 4 Specification of disc spring

d(mm)	D(mm)	h(mm)	H(mm)		0.5 h	h
72	140	3.2	11.2	P(kg)	90008	166314

3.4 하중에 따른 접시 스프링 설계

Fig. 10 과 Table 4 는 실제 금형에 설치된 접시 스프링의 재원이며, 설계과정은 다음과 같다. 접시 스프링을 병렬로 연결 시 0.5h 에서는 약 90ton, 1.0h 에서는 약 167ton 을 견딜 수 있다. Fig. 11 의 성형해석에서 예측한 128.4 ton 은 약 0.7h 정도면 견딜 수 있다. 따라서 ②번 펀치의 정지 조건인 46mm 를 맞추기 위해서는 15 개가 가장 적당하다. 여기서 H 는 스프링의 높이, h 는 스프링의 두께, d 는 소직경, D 는 대직경을 나타낸다.

4. 금형 및 시제품 제작

4.1 금형설계 및 제작

요크 성형용 실험 금형은 다단 분리형으로 설계하였으면 설계도는 Fig. 12 와 같다. 실제 실험을 위하여 가공된 금형 사진은 Fig. 13 과 같으며 스프링, 이젝터핀, 상·하부 금형, 가이드 금형 등 설계 제작된 부품들을 보여주고 있다. 냉간 성형의 경우 생산 제품 단가의 약 15~20%가 금형비로 소요된다[6]. 따라서 금형의 수명을 최대한 연

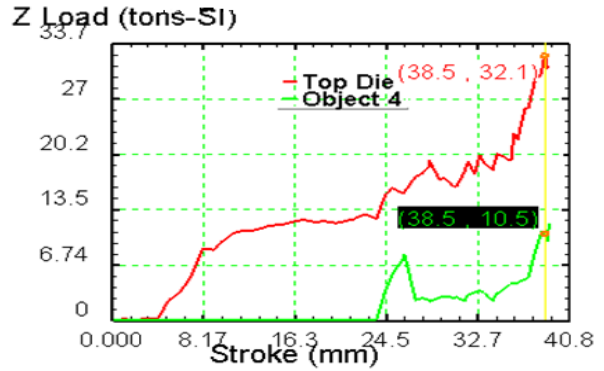


Fig.11 Load of double-action complex forging

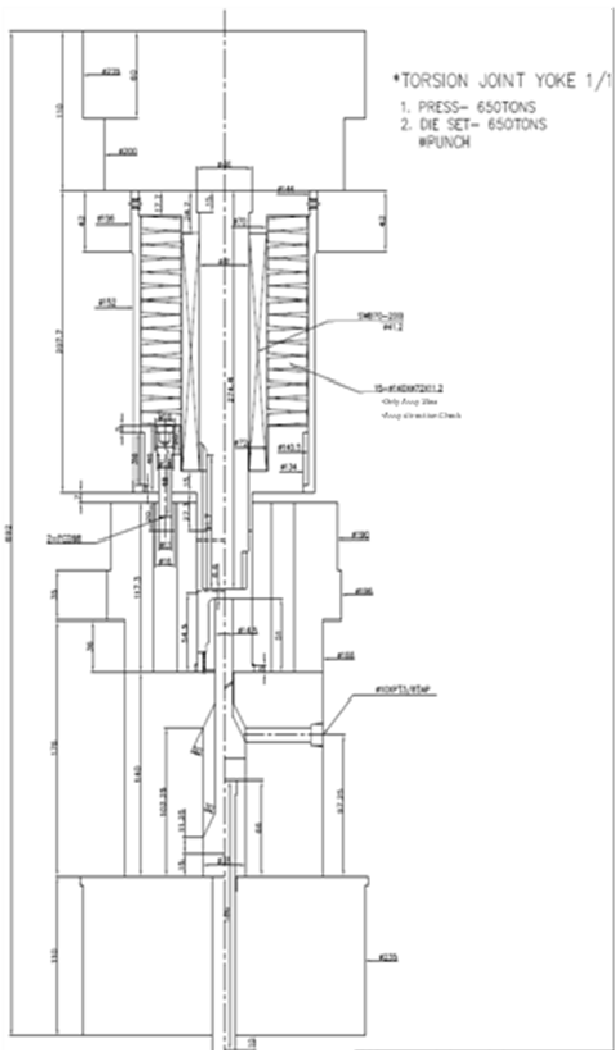


Fig.12 Assembled die set of double-action complex forging



Fig.13 Final products after forging

장시키고, 금형 상호간에 호환성이 있도록 설계를 하는 것이 단순히 제품을 만들어 내는 그 이상의 중요한 사항이라 할 수 있다. 다이세트는 성형장치와 금형을 상호 보완적으로 연결하여 성형부품을 성형하는데 중요한 역할을 한다. 특히 다이세트는 제품의 치수정밀도를 유지하는데 결정적인 기능을 하며, 상이한 제품의 성형 시에는 그 부품의 펀치(Punch)와 다이(Die)등 기본적인 금형만 교환하여 작업할 수 있는 기능을 한다.

금형의 재질은 냉간 성형 공정 및 소재의 재질에 따라 적합한 소재를 선정하여 사용하여야 하며, 전·후방 압출용 펀치의 일반적인 형상은 장착부의 외경은 클수록 좋지만, 펀치응력이나 다이세트(Die set) 구조 등을 고려하여 최소 펀치 성형부의 1.25 배 이상으로 제작하여 성형하중이 균일하게 분배되도록 한다.

4.2 시제품 생산

Fig. 13 은 성형된 제품을 사진으로 나타내고 있다. 초기소재에서 전·후방으로 복합압출을 시켜 제품을 완성한다. 압출과정에서 접힘, 미충진의 결함은 발생되지 않았으며, 성형해석과 일치하는 제품이 제작되었다.

5. 결론

본 연구는 토션 조인트용 요크의 제작을 위한 더블액션단조기술 개발이며, 결론은 다음과 같다.

(1) 자동차 구조용 열연강판에서 A1-6061 T6 로

소재를 변경하여 분석해본 결과 기존 97.8ton 에서 135.3ton 으로 사용하중이 증대되었다.

(2) 성형해석을 통한 예측하중 128.3ton 을 기준으로 접시 스프링 D140, d72, H11.2 를 설계할 수 있었다. 또한 15 개의 접시스프링을 병렬로 연결해야 펀치가이드가 46mm 에서 정지할 수 있다는 것을 확인하였다.

(3) 분할 금형을 적용한 금형도를 설계하여, 최적 금형 및 펀치를 제작할 수 있었다.

(4) 더블액션단조의 구조를 설계하여, 작동을 예측하고, 이를 적용하여 성형해석과 동일한 시제품을 생산할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] D. H. Song, Y. B. Park, S. J. Lim, M. E. Kim 2001, Proc. Kor. Soc. Tech. Plast. Fall Conf.(D. Y. Yang), Kor. Soc. Tech. Plast., Seoul, Korea, pp. 220~223.
- [2] S. S. Park, B. M. Kim, J. M. Lee, 2005, Process Design of Cold Forging for Drum Clutch with Inner Tooth Component, J. Kor. Soc. Precis. Eng., Vol. 22, No. 2, pp. 30~37.
- [3] G. Y. Kim, T. H. Kim, 2002, A Study on Design and Development of the Electronically Controlled Power Steering Controller for a Passenger Car, Trans. Kor. Soc. Automot. Eng., Vol. 10, No. 4, pp. 166~174.
- [4] Y. Choi, S. Y. Jung, B. M. Kim, J. C. Choi, 1999, An Analysis of Cold Foging at Final State Using Rigid-Plastic FEM, Trans. Mater. Process., Vol. 8, No.1, pp. 108~115.
- [5] DEFORM-3D ver 10.1 User's Manual, 2007, Kukmin, Inje, Korea.
- [6] H. H. Kwon, K. J. Moon, S. E. Song, O. S. Kim, 2011, Proc. Kor. Soc. Manuf. Technol. Eng. Spring Conf.(H. H. Kwon), Kor. Soc. Manuf. Technol. Eng., Jeju, Korea, pp. 190~191.