

복합단조 공정을 적용한 Outer Support Ring 개발

주원홍¹, 박성영^{2*}

¹공주대학교 대학원 기계공학과, ²공주대학교 기계자동차 공학부

Development of Outer Support Ring using Complex Forging Processes

Won Hong Ju¹, Sung-young Park^{2*}

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

²Div. of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju National University

요약 본 연구에서는 원웨이 클러치의 핵심 부품인 Outer Support Ring의 복합 단조 공정을 개발하고, 시제품을 제작하여 평가하였다. 기존 공정 즉, 열간 단조와 MCT 가공 공정은 과도한 소재 절삭량과 가공 시간이 길다는 단점이 있다. 이를 극복하고자 열간 단조를 통하여 형상을 구현하고, 냉간 단조를 통하여 정밀한 부품을 성형하였다. 최소한의 가공만을 적용하는 복합 단조 공정을 개발하였다. 상용 소프트웨어인 Deform-3D를 이용하여 단조 해석을 수행하였다. 해석 결과를 바탕으로 열간 단조 및 냉간 단조 공정을 설계하였고, 실제 금형 및 시제품을 제작하였다. 제작한 시제품은 경도, 표면 조도, 내부 결함, 단류선 검사 등의 평가를 수행하였다. 평가결과 특이한 문제점은 발견되지 않았으며, 양산적용이 가능할 것으로 판단된다. 복합 단조를 통하여 열간 단조와 MCT 가공 공정 대비 약 27%의 소재를 절감할 수 있었다. 또한 제품 개당 생산 시간은 약 2.15배 단축되었다. 본 연구를 통하여 원가 절감이 가능한 공정 및 금형 설계 기술을 확립하였고, 이를 통하여 관련 자동차 부품 생산에도 긍정적인 효과가 있을 것으로 기대된다.

Abstract In this study, the complex forging process of an outer support ring was developed and the prototype was manufactured. The current process, hot forging and MCT machining, has a disadvantage of excessive material removal rates and longer machining hours. To overcome this disadvantage, a general shape is given through hot forging and the precision is achieved through cold forging. The complex forging process was developed with the minimal machining process. Forging analysis was carried out to design a forging process using the commercial program, Deform-3D. The hot and cold forging processes were set up based on the analyzed result. The mold and prototype were manufactured. Hardness, surface roughness, internal defect, the grain low line of the prototype were evaluated. The results showed no particular problems, and there were no problems in mass production. Using complex forging, the material was reduced by approximately 27 % compared to the process using hot forging and MCT machining. In addition, the production speed was improved 2.15 fold compared to that of hot forging and MCT machining. Through this study, a cost-effective process and mold design technology were established, which is expected to have positive effects on other related automotive parts production.

Keywords : Complex forging, Computational analysis, One-way clutch, Outer support ring, Mold

1. 서론

자동차의 트랜스미션은 크게 토크컨버터, 클러치, 유성기어 및 원웨이 클러치로 구성되어 있다. 원웨이 클러

치는 프리휠링 클러치(free-wheeling clutch), 백 스톱 클러치(back-stop clutch)라고도 하며, 일 방향 클러치이다. 작동방식은 다음과 같다. 내측 허브는 변속이 주축에 연결되도록 스플라인이 파져 있고, 외측 허브는 롤러 베어

*Corresponding Author : Sung-Young Park(Kongju Univ.)

Tel: +82-41-521-9275 email: sungyoung@kongju.ac.kr

Received January 3, 2017

Revised February 7, 2017

Accepted April 7, 2017

Published April 30, 2017

링이 일 방향으로만 회전력을 전달할 수 있도록 베어링 수만큼 한 방향으로 턱이 저 있다. 원웨이 클러치의 설치 위치는 오버드라이브 기구의 링 기어와 오버드라이브 출력 축 사이에 설치된다. 원웨이 클러치의 바깥 레이스는 링 기어 바디에 끼워져 주축의 회전력을 오버드라이브 기구를 통해 출력축에 전달하지만, 반대 방향으로의 전달되지 않는다. Outer support ring은 원웨이 클러치를 구성하는 정밀성과 내구성을 요하는 핵심부품으로 원웨이 클러치의 골격에 해당된다.

Outer support ring은 단조가공법을 이용하여 제작을 한다. 단조가공법은 가장 오래된 소성가공법의 하나로 산업의 발전과 더불어 전 세계적으로 사용되고 있다. 대량생산뿐만 아니라 뛰어난 기계적 특성을 가진 제품의 생산이 가능하기 때문에 자동차 산업과 함께 발전해왔다. 이에 따라서 내구성과 고 정밀도를 동시에 만족시킬 수 있는 성형법의 요구가 늘어나고 있다[1-2]. 이를 위하여 최근에는 열간단조와 냉간단조의 특성을 이용한 복합 단조가 많이 쓰이고 있다. Fig. 1은 Outer Support Ring의 구조, 프로펠러부 및 소외경을 나타내고 있다.

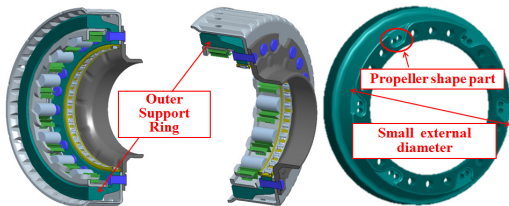


Fig. 1. Outer support ring structure

열간단조는 일반적으로 가장 많이 쓰이는 단조로 재료를 재결정 온도 이상으로 가열하여 실시하는 것이다. 상대적으로 성형하중이 작고 큰 소성 변형을 허용하는 장점이 있다. 그러나 기계적 성질이 불량하며, 급형의 마모가 심하고 치수정밀도가 낮다. 또한 작업환경이 불량

하고 자동화가 비교적 어렵다는 문제점이 있다. 냉간단조는 재료를 가열하지 않고 상온 또는 상온에 가까운 온도에서 실시하는 단조 방법으로 치수정밀도가 높다. 또한 높은 치수정밀도로 인하여 가공공정수가 대폭으로 저감된다[3-4].

소결공법은 조직치밀도가 낮기 때문에 파손에 취약하여 내구성이 미흡하다. 열간단조와 MCT 가공공정은 과다한 절삭량과 가공공수가 필요하며, 가공시간이 길어진다는 단점이 있다[5]. 이에 반해서 복합단조는 열간단조로 형상을 구현하고 냉간단조로 부품을 정밀성형하기 때문에 조직치밀도와 내구성이 높고, 절삭량 및 가공시간을 대폭 절감할 수 있다. 이러한 복합단조의 특성을 이용하여 자동차 트랜스미션용 클러치 기어 개발에 성공한 사례가 있다[1].

본 연구에서는 복합단조의 장점을 이용하여 Outer support ring의 공정을 개발하여 생산에 적용하고자 하였다.

2. 복합단조 공정

2.1 복합단조 공정흐름도

Fig. 2는 일반 공정과 복합단조 공정을 간략하게 나타낸 그림이다. 일반 공정에서는 CNC 가공 공정과 MCT 가공 공정을 포함한다. 반면에 복합단조 공정에서는 냉간단조를 통하여 소재를 정밀 성형하기 때문에 가공공정이 삭제 또는 축소된다. 가공 공정이 삭제되어 본 연구의 대상이 되는 제품의 개당 생산시간이 약 2.15배 단축되었으며, 소재가 약 27% 감소되었다.

Outer Support Ring의 복합단조 공정은 SAE 1541의 원자재를 가열로에서 약 1250℃로 가열하는 것으로 부터 시작된다. 가열된 원자재에 대하여 열간단조를 수행

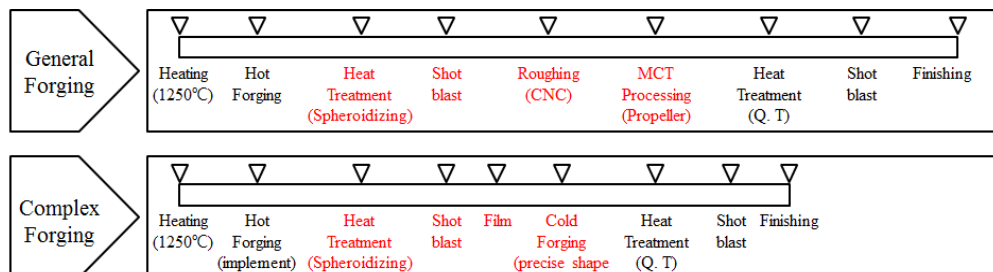


Fig. 2. Comparison between general and complex forging process

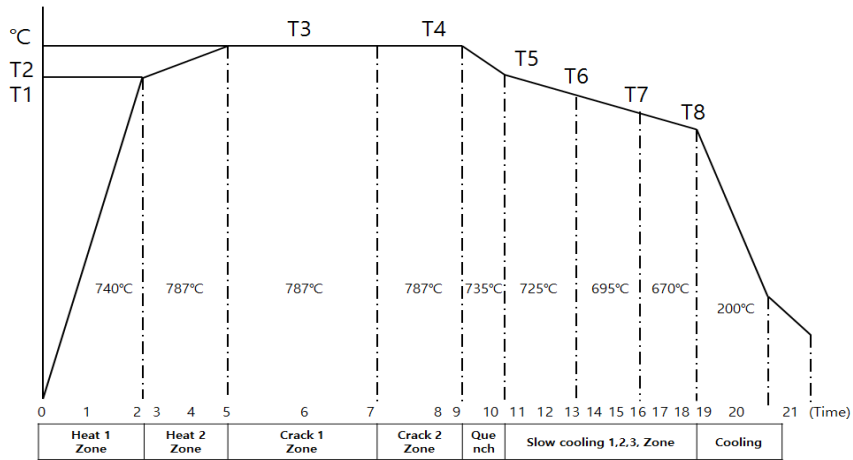


Fig. 3. Spheroidizing annealing condition

하고, 구상화소둔을 시행하였다. 구상화소둔의 조건은 Fig. 3과 같다.

구상화소둔 과정을 거친 후, Shot blast를 통해 스케일을 제거한다. 제품에 피막처리를 거친 후에 냉간단조를 시행한다. 냉간단조 후 열처리(Quenching and Tempering)를 실시한다. 마지막으로 Shot blast를 통해 스케일을 제거한다. 열처리 작업의 사이클은 Fig. 4와 같다.

2.2 복합단조 공정설계 및 CAE 해석

Outer Support Ring 제작을 위한 공정설계를 진행하였다. 열간단조와 냉간단조로 나누어 공정을 진행하였으며, 복합단조 성형해석은 Deform-3D를 이용하였다[6]. 열간단조 공정 해석은 약 64,000개의 계산격자를 적용하였으며, 소재를 금형에 안착시킨 후 상부 금형을 하강시키면서 해석을 진행하였다. 열간단조 금형의 모델은 Fig. 5와 같다.

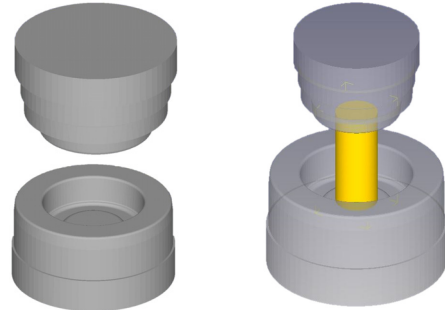


Fig. 5. Hot forging press modeling

Fig. 6은 열간단조 해석 결과를 보여주고 있으며, 해석 초기부터 제품에 전반적으로 압축 응력이 고르게 발생하는 경향을 보이고 있다. 제품의 형태가 나타나기 시작하는 단계부터는 제품의 중심부에 높은 압축 응력이 작용하며, 형태가 갖추어진 후에는 변형된 부분에 집중적으로 응력이 발생하였다. 변형이 일어나는 소재의 끝 성형부에는 약 310 MPa의 압축 응력이 작용하였다.

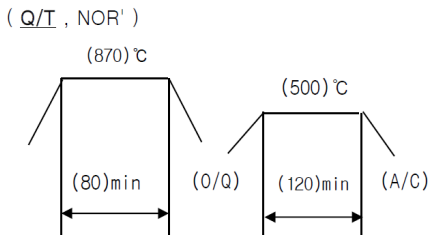


Fig. 4. Heat treatment(Quenching and Tempering)

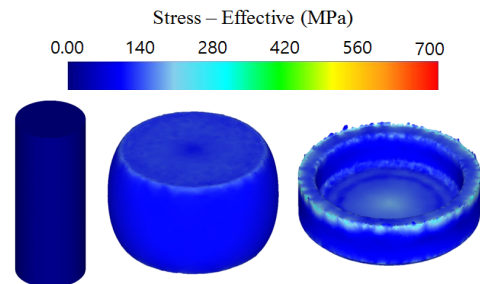


Fig. 6. Hot forging stress analysis

냉간단조 공정 해석은 약 96,000개의 계산 격자를 적용하였다. 열간단조와 마찬가지로 소재를 금형에 안착시킨 후 상부 금형을 하강시키면서 해석을 진행하였다. 냉간단조 금형은 Fig. 7과 같다.

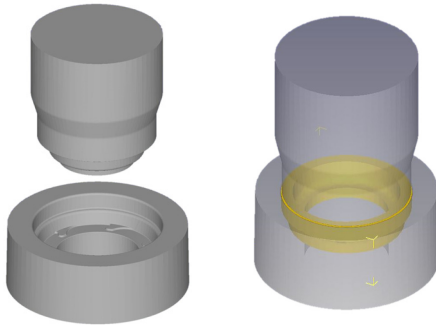


Fig. 7. Cold forging press modeling

Fig. 8은 냉간단조 해석 결과를 보여주고 있으며, 최종 형상 치수에 부합하였다. 소재에 전체적으로 약 670 MPa의 압축 응력이 고르게 분포하였다. 소재와 펀치가 직접 맞닿는 부위와 소재에 변형이 오는 밑면에 최대응력이 발생하였고, 소재의 굴곡 성형부에 약 910 MPa의 압축 응력이 발생하였다. 소재의 변형 시 발생하는 응력이 항복응력보다 높기 때문에 실제 냉간단조 시에 양호한 성형이 이루어 질것으로 사료된다.

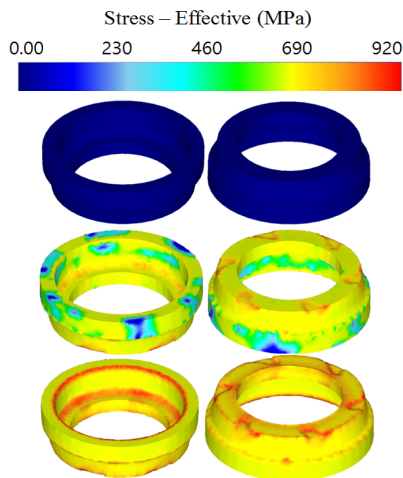


Fig. 8. Cold forging stress analysis

3. 시제품 제작 및 평가

3.1 Outer Support Ring 시제품 제작

CAE 해석을 통하여 열간단조 및 냉간단조 금형을 제작하였으며, 시제품을 생산하였다. Fig. 9는 열간단조 금형과 시제품을 보여주고 있다. 열간단조 금형은 SKD-61 재질을 이용하여 제작하였다. 열간단조 시 공기 미 배출 및 공정 이송 간 흔들림으로 인하여 소외경 부 겹침이 발생하였다. 이를 해결하기 위해서 금형의 소외경 부 치수를 기존 110.4 mm에서 107.9 mm로 변경하였다(Fig. 1).

3.1.1 구상화 소둔 후 경도측정

경도측정은 구상화소둔 과정을 거친 후, 로크웰 경도 시험 방법을 통하여 각 포인트에서 측정하였다. 평균 경도는 92.53 HRB로 측정되었다. 열간단조 후 제품에 경도가 고르게 분포하는 것을 확인하였으며, 특이점 없이 제품이 생산되었다. Fig.10은 경도측정 포인트와 측정값을 보여주고 있다.

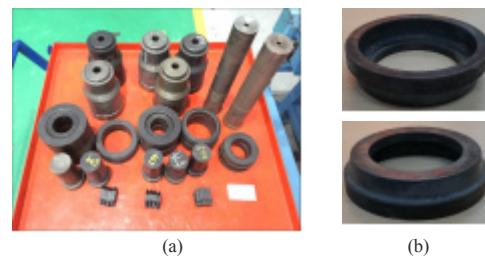
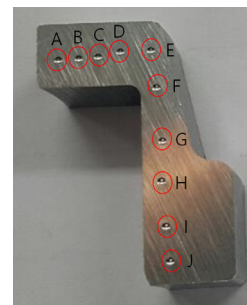


Fig. 9. Hot forging (a) Hot forging press mold (b) Prototype



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
92.8	94.8	94.3	94.3	92.1	91.4	90.3	89.8	92.6	92.9

Fig. 10. Hardness measurement (Unit : HRB)

Fig. 11은 냉간단조 금형과 시제품을 보여주고 있다. 냉간단조 금형은 초경과 SKH-51 재질을 이용하여 제작하였다. 초기의 금형을 이용한 시제품에서 두 가지 문제점이 발생하여 금형설계 일부를 수정하였다. 첫째는, 냉간성형 시 프로펠러 부에 에어포켓이 발생하였다. 이를 해결하기 위하여, 하부 금형 프로펠러 형성부에 에어홀을 가공하여 단조 시 체적 이동을 위한 공간을 확보하여 문제를 해결하였다. 둘째는, 열간단조품이 냉간금형 치수와 동등하여 금형 안착 시 문제가 발생하였다. 이를 해결하기 위하여, 상부 금형 접촉면에 경사를 기존 12°에서 20°로 변경하여 문제를 해결하였다.

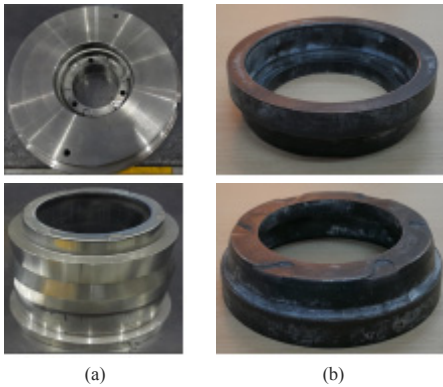


Fig. 11. Cold forging (a) Cold forging press mold (b) Prototype

3.1.2 단류선 검사

Fig. 12는 복합단조를 통하여 생산된 시제품의 단류선 측정결과를 보여주고 있다. 단류선 측정을 위하여 제품을 염산에 부식시켜 측정하였다. 단류선 분석결과, 내부적으로 심하게 접힌 곳이나 단류선이 끊긴 곳은 없었다. 복합단조 과정에서 제품에 특이점 없이 양호하게 제작되었다.

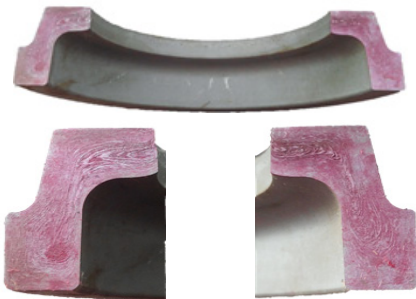


Fig. 12. Grain low line

Fig. 13은 냉간단조 후 열처리와 가공이 완료된 최종 제품을 보여주고 있다. 초기에 계획된 바와 같이 프로펠러부는 가공없이 냉간단조로 최종 치수를 만족하였다.

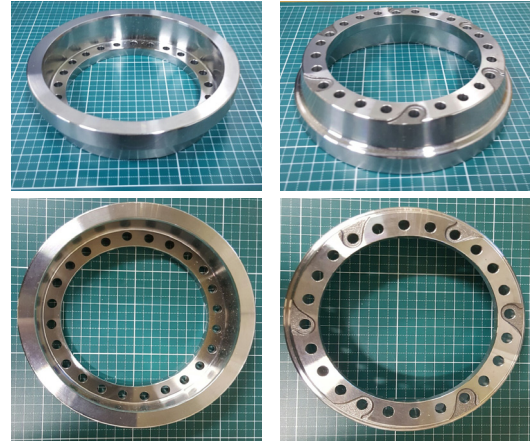


Fig. 13. Final prototype

3.2 시제품 평가

3.2.1 표면조도 측정

표면조도 측정은 INSIA AF장비를 사용하였으며, Area Scan 방식으로 1 mm²를 2 μm 간격으로 측정하였다. 평균표면조도는 0.43 Ra로 목표로 하였던 1.5 Ra 보다 낮은 것을 확인하였다. Table 1은 표면조도 측정값을 보여주고 있다.

Table 1. Surface roughness measurement (Unit : RA)

Sample	1	2	3	Average
Outer Support Ring	0.415	0.439	0.433	0.43

3.2.2 최종시제품 경도측정

최종 시제품에 대한 경도를 측정하였다. 측정 위치는 임의의 지점을 지정하여 5회 측정하였다. 시험은 KS B 0806(금속 재료의 로크웰 경도시험 방법)으로 측정하였다. 평균 경도는 약 109.2 HRB로 측정되었으며, 제품의 요구값을 만족하였다. Fig. 14는 최종 시제품에서 경도 측정 포인트를 보여주고 있다.



Fig. 14. Hardness measurement of the final prototype

3.2.3 내부결함 확인

내부결함 확인을 위하여 제작된 시제품을 절단하여 SEM을 촬영하였다. Fig. 15는 시제품 절단 위치와 제작된 시편이다.

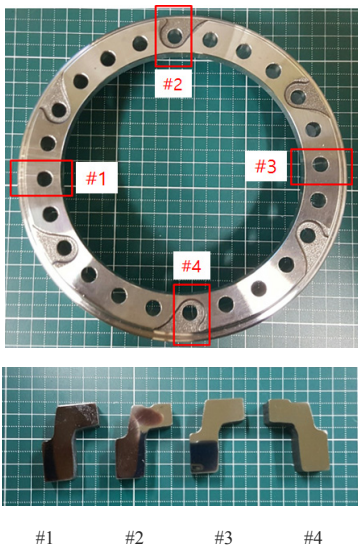
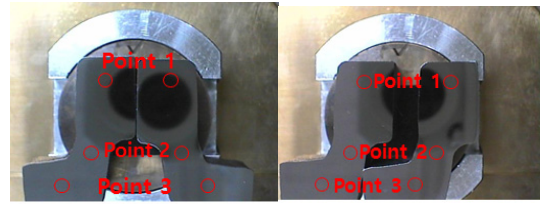


Fig. 15. Prototype cutting position and specimen

SEM 촬영은 절개한 시편에서 각각 3지점을 지정하여 촬영하였으며, 3000배율로 진행하였다. 시제품 내부에 50 μm 이상의 기공, 크랙과 같은 내부결함은 발견되지 않았다. Fig. 16은 각각의 시편별 포인트에서 촬영한 사진이다.



	Point 1	Point 2	Point3
#1			
#2			
#3			
#4			

Fig. 16. SEM pictures

3. 결론

원웨이 클러치의 핵심부품인 Outer Support Ring의 복합단조 공정을 개발하였다. 성형해석을 통해 공정을 개발하고, 금형과 시제품을 제작 및 평가하였다. 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Outer Support Ring의 복합단조 공정 개발로 인하여 기존의 방식보다 가공공정수와 시간이 대폭 저감되었다. 복합단조 공정 개발로 인하여 열간 + MCT 가공 대비 약 27% 소재를 절감하였으며, 제품 개당 생산시간은 약 2.15배 단축되었다.
2. 복합단조 해석을 수행하여, 성형 조건과 공정을 개발하였다. 해석결과, 열간단조의 경우 제품에 전반적으로 압축 응력이 고르게 발생하였다. 냉간단조의 경우 소재와 펀치가 직접 맞는 부위와 변형이 오는 밀면에 최대응력이 발생하였다. 이때 약 910 MPa의 압축 응력이 발생하며, 소재의 항복응력보다 높기 때문에 양호한 성형이 이루어 질것으로 판

단된다.

3. 열간단조 시 소외경 부 겹침이 발생하여, 금형의 소외경 부 치수를 2.5 mm변경하였다. 또한, 냉간단조 시 에어포켓을 방지하기 위하여, 하부 금형 프로펠러 형성부에 에어홀을 가공하였다. 또한 제품의 냉간금형 미 안착 문제를 해결하기 위하여, 상부 금형 접촉면에 경사를 설계 변경하였다.
4. 열간단조, 냉간단조 금형 및 시제품을 제작하였다. 시제품 평가를 위하여 경도, 표면조도, 내부결함, 단류선 등을 검사를 하였다. 검사결과 특이점은 발견되지 않았으며, 제품 양산에 문제가 없을 것으로 판단된다.

본 연구를 통하여 개발된 복합단조 공정은 타 부품에도 적용이 가능한 기술로서, 타 부품에 적용 시 소재절감과 공정수 축소 등의 효과를 획득할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] K. O. Lee, J. M. Kim, J. S. Je, S. S. Kong, "Development of precise clutch gear for automobile transmission by compound forging process", J. Kor. Soc. Precis. Eng., 23(1), pp. 185-192, Jan. 2006.
- [2] Gillo Giuliano, "Process design of the cold extrusion of a billet using finite element method", Materials & design, Vol. 28, No. 2, pp. 726-729, 2007.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2005.07.020>
- [3] M. S. Joun, H. K. Moon, M. C. Lee, D. Y. Suh, "Finite Element Analysis of Compound Forging Processes", J. Kor. Soc. Precis. Eng., pp. 546-550, Jun. 1996.
- [4] H. S. Lee, G. C. Jun, "Metal Forming Technology for the Parts of Power Train Components in Automobile", pp. 124-134, Kor. Soc. Tech. Plast.
- [5] J. H. Nam, S. H. Jung, T. W. Jung, Y. S. Lee, "Study on New Process for Precision Forging of Helical Gear", Transaction of the Korean Society For Technology of Plasticity, pp. 107-110, 2010.
- [6] DEFORM User's Manual V11.0, Scientific Forming Technologies Cooperation., 2016.

주 원 홍(Won Hong Ju)

[정회원]



- 2016년 2월 : 공주대학교 기계자동차공학부 (공학사)
- 2016년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계공학과 석사과정

<관심분야>

열유체 해석, 내연기관 성능개발, 차량부품개발

박 성 영(Sung-Young Park)

[정회원]



- 1993년 2월 : 충남대학교 기계공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 충남대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2002년 5월 : Texas A&M Univ. 기계공학과 (공학박사)
- 2006년 4월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부, 정교수

<관심분야>

열유체 해석, 내연기관 성능개발, 차량부품개발