

자동변속기용 부품의 에너지 절감을 위한 최적 설계 연구

이학선[#] · 김태형¹ · 김선현¹ · 홍의창² · 이정환³

A Study on the Optimum Design for Energy Saving of an Auto Transmission Part

H. S. Lee, T. H. Kim, S. H. Kim, E. C. Hong, J. H. Lee

(Received December 31, 2014 / Revised March 23, 2015 / Accepted March 24, 2015)

Abstract

Many in the industrial world that consume high amounts of energy are trying to reduce energy when manufacturing their products. Energy saving during manufacturing is a cost reduction. Reduced cost is necessary for profit improvement. The Piston Under Drive Brake used in the current study is an automotive transmission part. The original machining after hot forging was changed to machining after cold forging of a plate in order to save energy and cost. Two extrusion shapes along the outer diameter caused decreased tool life because of the interrupted cut during turning. Therefore, a thickness reduction of two extrusion areas in the outer diameter was needed. The current study suggests an effective way to reduce the thickness of interrupted cut by using progressive blanking.

Key Words : Cold Forging, Hot Forging, Auto Transmission Part, Turning Machining, Energy Saving, Optimum Design, Weight Saving, Cold Formed Part

1. 서 론

에너지 소모가 많은 산업계에서는 최근 제품 및 제품 제조상의 에너지 절감을 위해 많은 노력을 기하고 있다. 에너지 절감은 곧 원가 절감과 연관되기 때문에 제품 판매 단가의 이윤 향상을 위해서 절대적으로 필요한 사항이다. 앞선 연구에서 자동차 자동 변속기 부품인 Piston Under Drive Brake 제품을 열간 단조 후 선삭 가공하는 공정에서 에너지 및 원가 절감을 위하여 판재 냉간 단조품으로 공법 변경을 통해 단조품 중량 절감 효과를 거두었다. 열간 단조에서는 단조 투입 전 소재를 가열하기 위해 높은 열에너지가 필요하다. 하지만, 판재 냉간 단조로

변경을 통하여 효과적으로 에너지 사용을 줄일 수 있었다. 또한, 냉간 단조 공법 변경은 단조품 중량이 크게 절감되었으며, 이로 인해 선삭 가공량이 줄어 가공 시간 축소에 따른 에너지 및 원가 절감의 효과를 볼 수 있었다. 하지만, 제품 외측의 돌출된 형상으로 인하여 가공 시 단속 발생에 따른 가공 공구의 수명 악화는 냉간 단조품에서도 큰 효과를 얻지 못하였다. 냉간 단조 공정에 대한 이해와 성형 방법 연구를 통하여 가공 단속구간의 선삭 가공성 향상에 대한 효과적인 대응 방안에 대하여 연구를 진행하였다. 앞서 Merklein et al. 은 자동차 변속기 부품 및 기어류 성형 시 판재를 이용하여 다양한 방법의 냉간단조 성형 방법에 대하여 제시하였다.

1. ㈜오토 경주공장

2. ㈜호창MF

3. 한국기계연구원 부설 재료연구소

Corresponding Author : OTO INDUSTRY CO., Ltd, E-mail : hslee@oto.kr

제시한 방법을 이용하여 유한요소 해석 및 실제 성형을 실시하여 비교하였다[1, 2]. Altan and Knoerr은 유한요소 해석 프로그램 DEFORM-2D를 이용하여 베벨 기어 냉간 단조 형성 시, 예비 성형 형상을 예측하고 이를 실제 냉간 단조에 적용하였다[3]. McCormac et al. 은 2 또는 3 스테이지와 같이 다단계 냉간 단조 공정의 2 차원 및 3 차원 유한요소 해석을 실험적 결과와 같이 비교하였다[4, 5]. Nakano는 제품의 동일한 패턴에서 판재 냉간 단조 공정을 분류하였으며, 판재 단조의 가능성을 나타내었다[6]. 이번 연구에서는 Piston Under Drive Brake 제품의 판재 냉간 단조 전체 공정인 블랭킹 및 단조 3 공정에서 가공 단속구간 두께를 효과적으로 축소시킬 수 있는 방안을 연구하였다. 투입 재료 두께 축소, 금형 조건 및 구조 변경을 제안하여 제품 제조상의 에너지 절감을 위한 최적 설계를 수행하였다.

2. 제품 분석

2.1 대상품목 및 구조

이번 연구에 적용된 제품은 6속 자동변속기 부품인 Piston Under Drive Brake로써 1, 2, 3, 4단 변속 시 사용되는 중요 부품이다. Fig. 1과 같이 위치 고정 및 상대물 조립과 관련되어 외경부에 원주방향의 돌출부가 2 부위에 위치하고 있다. 이런 돌출부는 선삭 가공 시 단속이 걸려 잦은 공구 파손의 원인을 제공한다. Fig. 1(a)에서 냉간 단조품의 외경 돌출부 두께는 약 6.3mm로 Fig. 1(b)에서 가공 후 두께가 1.0mm로 되어야 하기 때문에 가공 시 단속 구간의 가공량은 약 5.3mm 가 된다. 가공 시 단속을 일으키는 제품 형상의 특이성과 이 구간의 가공량 과다로 인한 가혹한 조건 하에서의 선삭 가공으로 공구 수명 저하에 따른 잦은 공구 교체로, 낮은 생산량 및 품질 관리의 어려움을 보이고 있다. 따라서, 선삭 시 단속구간이 되는 단조품 외경 돌출부의 두께를 줄이기 위해 판재 냉간 단조 공법을 개선하여 재료 투입량 및 선삭 가공량을 최소화시킬 수 있는 방법을 연구하였다.

2.2 냉간 단조 성형 공정

Piston Under Drive Brake 제품은 Fig. 2와 같이 판재 소재를 이용하여 블랭킹 공정과 단조 3 공정(1st, 2nd, 3rd forging)으로 제작되고 있다 외경 2 부위의 돌출

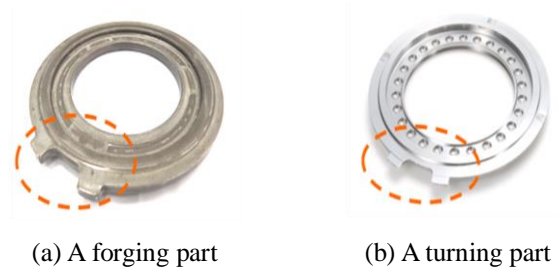


Fig. 1 Piston Under Drive Brake

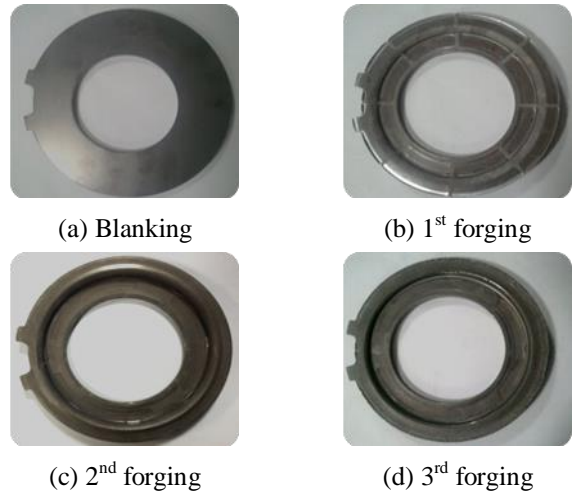


Fig. 2 Process of plate cold forging

Table 1 Weight of gross and forged part in 6.0mm material thickness

Material thickness	Gross weight	Weight of forged part
6.0 mm	1,460 g	765 g

Table 2 Thickness and turning volume of interrupted cut in 6.0mm material thickness

Material thickness	Thickness after forging	Turning volume of interrupted cut
6.0 mm	6.3 mm	5.3 mm

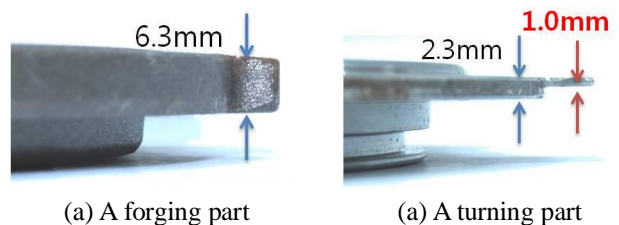


Fig. 3 Thickness in interrupted cut

된 형상으로 인하여 블랭킹 공정에서 제품의 외경 치수 및 형상을 만족시킨 후 단조 3 공정을 진행하는 제조 방법을 사용하였다. 원소재는 고경도 재질의 S55C이며, 현재 Table 1과 같이 6.0mm 두께의 소재를 사용하고 있다. 냉간 단조 시 필요한 소재 투입 중량은 1,460g이며, 단조품 중량은 765g이다. Table 2는 단조 후 가공 단속 구간에서의 소재 두께와 선삭 가공량을 나타내었다. Fig. 3에 가공 단속 구간에서의 가공량을 표현하였으며, 가공 단속 구간에서의 가공량이 약 5.3mm로 가공 시 가혹한 단속 구간에서의 가공으로 인해 가공 공구의 수명은 비 단속 구간의 가공 공구의 수명에 비해 약 1/4 수준이다.

3. 최적 설계 해석

3.1 냉간 단조 성형 해석

가공 단속구간의 선삭 가공량을 줄이기 위해서 현 단조 제조 공법을 고려하여 원소재의 두께를 줄이는 방법으로 검토를 하였다. 단조 후 가공 단속 구간에서의 두께가 약 0.2~0.3mm 두꺼워 지는 것을 확인하고, Table 3과 같이 소재 두께를 0.3mm 줄인 5.7mm로 Fig. 4와 같이 Deform-2D 를 사용하여 유한 요소 해석을 진행하였다. 초기 메쉬 수는 240,000개, 마찰계수는 0.12로 하였다. 원소재 두께를 줄여서 적용하였을 때는 현 사양에 비해 소재 투입량 및 단조품의 중량이 약 5% 절감 효과를 거둘 수 있는 것으로 확인되었다. Table 4는 단조 후 가공 단속 구간에서의 소재 두께와 선삭 가공량을 나타내었다. Fig. 5는 5.7mm 소재를 사용하여 성형해석을 수행한 결과이며, 5.7mm 소재를 사용하여 성형하더라도 선삭 가공 시 미가공 등의 문제는 없었지만, Table 4에서 나타내었듯이 가공 단속구간의 가공량은 4.9mm로 크게 축소되지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 가공 단속 구간에서의 공구 수명을 높일 수 있는 효과는 미비한 것으로 판단하였다.

가공 단속구간의 선삭 가공량 축소를 위해 소재 두께를 Table 5와 같이 5.5mm로 사용하여 유한 요소 해석을 수행하였다. 5.5mm 소재를 사용함으로써 단조 소재의 투입 및 단조품 중량이 현 사양 대비 약 8% 줄어 들었다. 단조의 각 공정별 금형의 스트로크 조건을 조정하여 가공 단속구간의 가공량을 최소화 시키기 위해 연구하였으며, 특히 가공 단속

Table 3 Weight of gross and forged part in 5.7mm material thickness

Material thickness	Gross weight	Weight of forged part
5.7mm	1,387g	727g

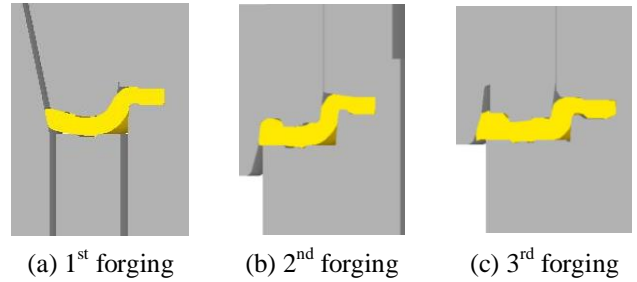


Fig. 4 Simulation of plate cold forging process

Table 4 Thickness and turning volume of interrupted cut in 5.7mm material thickness

Material thickness	Thickness after forging	Turning volume of interrupted cut
5.7mm	5.9mm	4.9mm



Fig. 5 Forming analysis in 5.7mm material thickness

Table 5 Weight of gross and forged part in 5.5mm material thickness

Material thickness	Gross weight	Weight of forged part
5.5mm	1,339g	701g

Table 6 Thickness and turning volume of interrupted cut in 5.5mm material thickness

Material thickness	Thickness after forging	Turning volume of interrupted cut
5.5mm	4.7mm	3.7mm

구간이 되는 외측 금형 스트로크를 하향 조정하여 해석을 수행하였다. 그 결과 Table 6과 같이 단조 후 가공 단속구간의 두께는 약 4.7mm이며, 가공량은

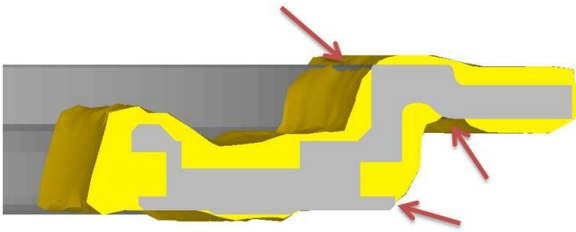


Fig. 6 Forming analysis in 5.5mm material thickness

3.7mm로 나타났다. 하지만, Fig. 6에서 나타낸 것과 같이 제품 밴딩부에서 결육이 나타남으로 인해 선삭 가공 시 단조면 미가공이 발생한다는 것을 확인할 수 있었다. 소재 절감 및 가공 단속구간에서의 선삭 가공량에서는 가장 적절한 소재 두께이나, 선삭 가공 시 단조면의 미가공등의 품질 문제가 나타남으로써 적용할 수 없었다. 또한, 밀폐 단조 금형에서의 금형 스트로크 조정은 성형하중 증가로 인한 금형 파손의 영향을 야기할 수 있기 때문에 현 단조 금형 상태에서는 스트로크 조건 변경으로 가공 단속구간의 성형 개선시킬 수 없다고 판단하였다.

3.2 블랭킹 공정 개선

현재 3 단계로 진행되는 단조 공정은 제품 외경의 돌출(단속구간)로 인하여 블랭킹 소재가 단조 금형에서 외경이 고정되고, 내경부가 외측으로 이동되며 성형되는 구조로 되어 있다. 가공 단속구간의 축소를 위해 단조 금형 전체를 수정하고 마지막 공정에 외측 모양을 트리밍 하는 공정을 넣기에는 소재 투입량 및 단조 공정의 추가가 발생되기 때문에 경제성을 고려해서는 최적설계라 보기 어렵다. 따라서, 단조 공정에서 가공 단속구간의 두께 축소 방법에는 어려움이 있기 때문에 블랭킹 공정에서 가공 단속구간의 두께 축소를 검토하였다. 일반적으로 판재 소재를 이용하는 블랭킹 공정은 피어싱과 블랭킹을 동시에 할 수 있도록 컴파운드 금형으로 제작하지만, 본 제품의 블랭킹 금형은 Fig. 7과 같이 피어싱과 블랭킹 2 단계의 프로그래시브 금형으로 제작되어 있다.

블랭킹 프로그래시브의 금형을 수정하여 현재 피어싱과 블랭킹 2 단계로 구성되는 있는 것을 피어싱과 블랭킹 공정 사이에 가공 단속 구간의 두께를 축소시키기 위한 업세팅 공정을 추가하였다. Fig. 8과

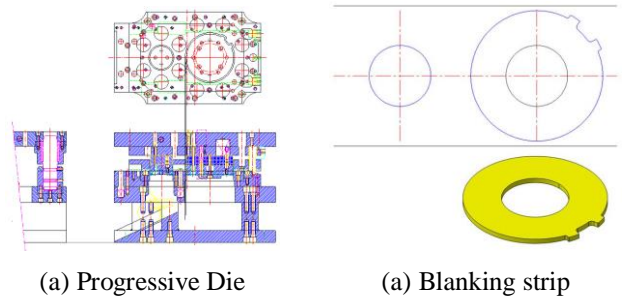


Fig. 7 Blanking progressive

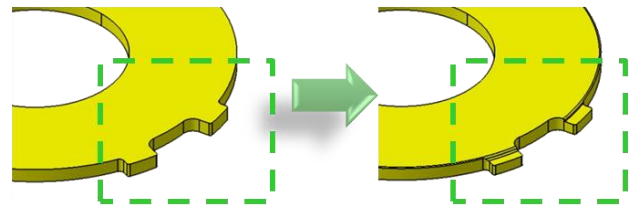


Fig. 8 Improvement of blanking part

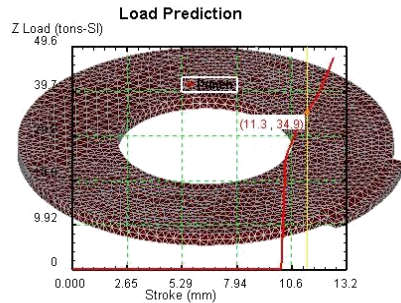


Fig. 9 Load prediction in upsetting stage

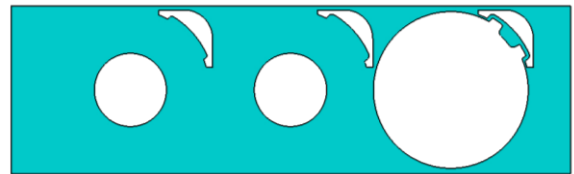
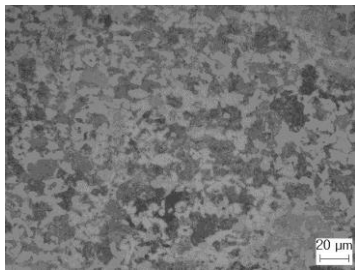


Fig.10 Strip shape of blanking progressive

같이 업세팅 공정을 추가하여 가공 단속구간의 두께가 축소된 블랭킹 소재를 나타내었다. 블랭킹 공정의 유한 요소 해석은 Deform-3D 를 사용하였으며, 초기 메쉬 수는 40,000개, 소재와 금형의 마찰계수는 0.12로 하였다. Fig. 9에 업세팅 공정 시의 성형하중을 나타내었으며, 성형하중은 약 40ton 수준이었다.



(a) Micro structure



(b) Metal flow line

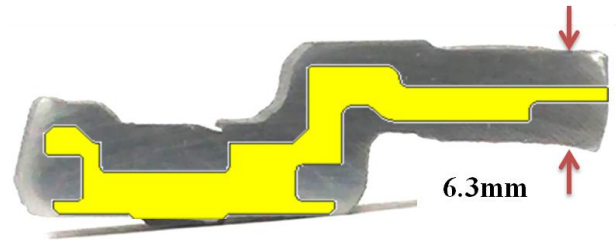
Fig.11 Micro structure and metal flow line

Fig. 10은 블랭킹 프로그래시브 금형을 개선시켜 피어싱, 업세팅, 블랭킹 3 단계로 이루어진 스트립 형상을 나타내었다. 프로그래시브 1차 단계에서 내경과 가공 단속구간을 피어싱하고, 2차 단계에서 가공 단속구간을 업세팅 한 후 3차 단계에서 단조 공정에 투입할 수 있는 소재로 블랭킹한다.

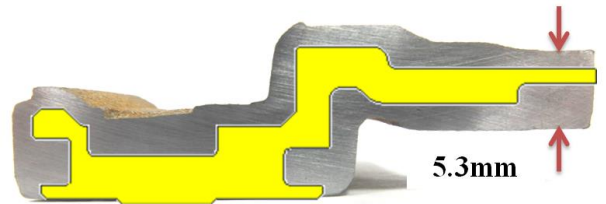
블랭킹 프로그래시브 공정에서 피어싱, 업세팅, 블랭킹 3 단계로 진행하고, 단조 3 공정을 진행 후 Fig. 11과 같이 선삭 가공 전 노말라이징 열처리 후의 조직 사진 Fig. 11(a)와 금속 단류선 Fig. 11(b)를 확인한 결과 현 사양 제품과 비교했을 때 이상 현상은 발견되지 않았다. Table 7에는 블랭킹 소재를 개선 한 제품에 대해 단조 후 가공 단속구간의 두께와 선삭 가공량을 나타내었다. 업세팅 공정을 추가함으로써 가공 단속구간의 선삭 가공량을 4.3mm 까지 줄일 수 있게 되었다. Fig. 12에 현 사양의 단조품과 블랭킹 프로그래시브 공정에서 업세팅을 추가한 사양의 단조품을 선삭 가공품과 비교하여 선삭 가공량을 확인하였다. Fig. 12(a)에서 현 사양 단조품은 투입 소재 두께 6.0mm에서 0.3mm 증가로 가공 단속구간의 두께가 6.3mm 가 되었지만, Fig. 12(b)에서 블랭킹 프로그래시브 공정을 개선한 후 단조 공정을 진행한 단조품은 가공 단속구간의 두께가 Fig. 12(a)의 현 사양의 단조품에 비해 약 1.0mm 축소된 5.3mm로 나타난 것을 확인할 수 있었다.

Table 7 Thickness and turning volume of interrupted cut after improvement of blanking progressive

Material thickness	Thickness after forging	Turning volume of interrupted cut
6.0mm	5.3mm	4.3mm



(a) Turning volume in Present part



(b) Turning volume in progress part

Fig.12 Change of turning volume

4. 결론

이번 연구에서는 자동차 자동변속기 부품인 Piston Under Drive Brake의 단속 구간 가공에 의한 공구 수명을 높이고자 냉간 성형에 적용되는 판재 소재의 두께 및 금형 조건의 변화를 통하여 단속 구간의 두께를 최소화시키기 위한 연구를 수행하였다. 따라서, 이번 연구에 대한 결론은 다음과 같이 도출하였다.

- (1) 5.7mm 두께의 소재 적용 시 단조 투입 및 단조품 중량이 낮아짐으로 원가의 절감효과를 거둘 수 있지만, 단속 구간의 가공량은 약 0.4mm 줄어 단속 구간에서의 공구 수명 증대에 대한 효과는 미비할 것으로 판단된다.
- (2) 5.5mm 두께의 소재 적용 시 단조품의 밴딩부에 결속 발생으로 선삭 가공 시 미가공이 발생되기 때문에, 최적의 소재 두께는 5.7mm로 나타났다.
- (3) 블랭킹 프로그래시브 공정에서 현재 피어싱과 블랭킹 2 단계로 되어 있는 것을 피어싱과 블랭킹

사이에 가공 단속구간의 두께를 축소시킬 수 있는 업세팅 공정을 추가한 3 단계로 진행 시 가공 단속구간의 가공량을 현재보다 약 1.0mm 축소시킬 수 있었다.

(4) 가공 단속구간의 두께 축소에 따라 가공 공구 수명 향상은 물론이고, 가공 공정의 축소의 결과도 얻을 수 있을 것으로 판단되어 제품 제조상의 에너지 절감에 대한 효과가 예상된다.

(5) Piston Under Drive Brake와 같이 제품 형상에 가공 단속구간이 존재하는 타제품에 대해서도 본 연구와 동일한 공법 적용이 가능할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 대경지역사업평가원의 광역경제권 선도산업 육성사업[R0001627] 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- [1] M. Merkleina, J. M. Allwoodb, B.-A. Behrenc, A. Brosiusd, H. Hagenaha, K. Kuzmane, K. Morif, A. E. Tekkayad, A. Weckenmann, 2012, Bulk Forming of Sheet Metal, CIRP Ann.- Manuf. Technol., Vol. 61, No. 2, pp. 725~745.
- [2] M. Merklein, J. Koch, S. Opel, T. Schneider, 2011, Fundamental Investigations on the Material Flow at Combined and Bulk Metal Forming Processes, CIRP Ann.- Manuf. Technol., Vol. 60, No. 1, pp. 283~286.
- [3] T. Altan, M. Knoerr, 1992, Application of the 2D Finite Element Method to Simulation of Cold-forging Processes, J. Mater. Process. Technol., Vol. 35, No. 3, pp. 275~302.
- [4] C. McCormack, J. A. Monagan, 2001, A Finite Element of Analysis of Cold Forging Dies using Two and Three Dimensional Model, J. Mater. Process. Technol., Vol. 118, No. 1, pp. 286~292.
- [5] C. McCormack, J. A. Monagan, 2002, 2D and 3D Finite Element Analysis of a Three Stage Forging Sequence, J. Mater. Process. Technol., Vol. 127, No. 1, pp. 48~56.
- [6] T. Nakano, 2001, Compound Technology of Sheet Metal Forming and Cold Forging, J. Jpn. Soc. Tech. Plast., Vol. 42, pp. 388~392.
- [1] M. Merkleina, J. M. Allwoodb, B.-A. Behrenc, A. Brosiusd, H. Hagenaha, K. Kuzmane, K. Morif, A. E.