

냉열간 단조기술을 적용한 농기계용 클러치 Jaw 부품 일체화 성형기술

박동환^{a*}, 한성철^b

Integration Forming Technology based on Cold Hot Forging of Clutch Jaw Parts for Farm Machinery

Dong-Hwan Park^{a*}, Seong-Chul Han^b^aGeongbuk Hybrid Technology Institute, 24-24, Goeyeon 1-gil, Yeongcheon-si, Gyeongbuk-do, 38899, Korea^bHanseong Industry, 2-22, Geomdanbuk-ro, Buk-gu, Daegu 41503, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20 July 2015

Revised 16 September 2015

Accepted 21 September 2015

Keywords:

Integration forming

Clutch Jaw

Farm machinery

Cold hot forging

Forging technology

ABSTRACT

Forging is a manufacturing process involving the shaping of metal using localized compressive forces and the process of deforming metal into a predetermined shape using certain tools and press according to the temperature. Forging provides stronger metal parts than that possible by casting or machining. Conventional clutch jaw parts have been developed through cold forging and precision machining; however, fabrication of integral clutch jaw parts for farm machinery has not been reported yet. These parts were developed by applying a complex forging technology combining cold and hot forging. The integrated forming technology proposed in this study will be useful for reducing the lead-time for manufacturing, improving the accuracy of products, and eliminating the welding process.

1. 서론

최근 자동차, 선박, 농기계 등에 사용되는 정밀 단조 부품을 생산하기 위하여 단조 기술에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있지만, 성형성 문제로 정밀 단조 부품 생산이 어려워지고 금형 파손이 빈번히 발생되고 있는 실정이다. 이에 따라 정밀 단조 부품 생산을 위해 고강도 소재 성형과 금형 수명 향상, 생산 공정 개선이 요구되고 있다. 냉열간 단조기술(cold hot forging technology)은 냉간 단조공법으로 제작 시 발생하는 플랜지 부위의 크랙과 열간 단조공법으로 제작 시 발생하는 산화, 탈탄 등의 취약점을 보완하여 열간 단조 후 냉간 단조기술을 적용하여 부품을 제작하는 기술이다. 냉열간 단조기술은 냉간 단조 기술만으로는 성형이 어렵고 형상이

복잡한 경우에 열간 단조 공정을 실시하고 이후에 냉간 단조 공정을 실시하여 정형하는 경우에 사용한다.

열간 단조 공정에서 소재와 금형 사이의 마찰 특성이 중요한 사항으로 마그네슘 합금 AZ80 압출재를 이용하여 열간 단조 시 윤활제의 성능을 평가하였는데, 그라파이트 함유량이 증가함에 따라 마찰계수가 낮아져 단조 성형성이 향상된다고 보고되고 있다. 특히, 열간 단조 시에 무윤활의 경우에 마찰계수가 0.43으로 평가되었고^[1], 보론강 튜브를 이용한 열간 성형해석에서 마찰계수 0.4가 적용되었다^[2]. 냉간 단조 공정에서는 튜브의 유동성형(flow forming)을 이용한 중공형 부품이 개발되었고^[3], 다단 공정에 대한 연구 등이 진행되었다^[4-8].

복합단조 기술은 현재 포마 공정과 냉간 공정으로 적용되고 있으

* Corresponding author. Tel.: +82-54-330-8020

Fax: +82-54-330-8029

E-mail address: pdh@ghi.re.kr (Dong Hwan Park).

나, 열간 단조 공정은 제품의 치수정밀도가 떨어지므로 열간 공정 후 냉간 공정으로 성형해야 원가절감 및 정밀도가 우수한 제품을 얻을 수 있다. 클러치 Jaw 부품은 냉간 공정만으로 작업 시 금형 파손으로 인하여 원가상승과 품질 저하 문제가 빈번히 발생하며, 이러한 문제점을 해결하기 위해 냉열간 복합단조 기술을 적용하였다.

농기계용 이앙기 클러치 Jaw 부품은 이앙기에 중요한 엔진 부품으로 이양심을 일정하게 유지해 주는 수평제어 장치이다. 클러치 Jaw 부품의 특성으로는 캠 각도 등의 정밀도가 요구되는 부품으로 기존 2개의 단조 부품을 일체형 냉열간 단조기술을 적용하여 원가절감, 용접공정 삭제 등의 효과를 기대할 수 있다. 즉, 농기계용 일체형 클러치 Jaw 부품은 기존 냉간 단조 또는 정밀 가공으로 2개의 부품을 용접하여 사용하던 것을 일체형으로 변경하여 용접 공정과 재료 손실을 없애고 열간 단조 공정과 냉간 단조 공정을 복합한 냉열간 복합 단조기술 적용이 가능하다. 또한, 열간 단조 공법으로 제작 시 발생하는 산화, 탈탄 및 가공량 과다와 냉간 단조 공법으로 제작 시 발생하는 플랜지 부위의 크랙 등의 취약점을 보완하여 열간 단조 후 냉간 단조 공법을 적용하여 일체형 부품 개발이 가능하다.

본 연구는 열·냉간 복합단조 클러치 Jaw 부품을 열간 단조 후 냉간 단조 공법 기술을 적용하여 개발하고자 한다. 농기계용 일체형 클러치 Jaw 부품은 기존 냉간 단조 또는 정밀 가공으로 2개의 부품을 용접하여 사용하던 것을 일체형 부품으로 제안하였다. 클러치 Jaw 부품은 열간 단조 공정과 냉간 단조 공정을 복합하여 성형하는 농기계용 부품으로 기존 2개의 클러치 Jaw 부품을 조립하여 용접하던 것을 일체형 시제품을 제작하여 생산 일정 감소와 제조원가 절감, 용접 공정 삭제가 가능함을 확인하였다.

2. 금형 실험

2.1 소재 물성 시험

클러치 Jaw 부품에 대한 성형해석을 위하여 압축시험을 수행하여 기계적 성질을 확인하였다. 시험에 사용된 소재는 SCM420이며, 시험편은 Fig. 1과 같이 원기둥 모양으로 지름 10 mm, 높이 15 mm로 와이어 커팅 가공하여 제작하였다. 압축시험은 60 ton 만능재료시험기(UTM)에서 시험속도 2 mm/min로 소재 압하율 60% (9 mm)까지 압축하여 수행하였다. 압축시험 결과 압축시편에 일정한 하중을 가하여 9 mm까지 압축한 후 시편의 높이를 측정 한 결과 7.4 mm로 확인되었고, 예상 시편 높이인 6 mm에서 1.4 mm 복원되는 현상이 발생됨을 확인하였다. Fig. 2는 압축시험 장비를 보여주고, Fig. 3은 압축시험 전후의 시편을 보여준다. Fig. 4는 SCM420 소재 압축 과정을 공칭 응력과 공칭 변형률 선도,

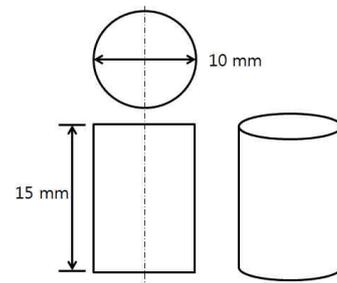


Fig. 1 Test specimen size



Fig. 2 Experimental equipment for compression test

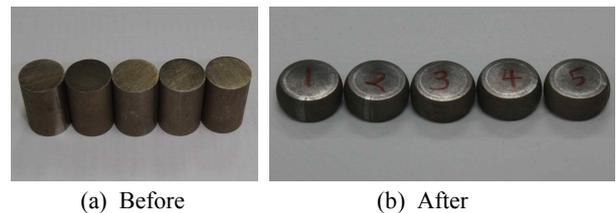


Fig. 3 Test specimens of before and after compression test

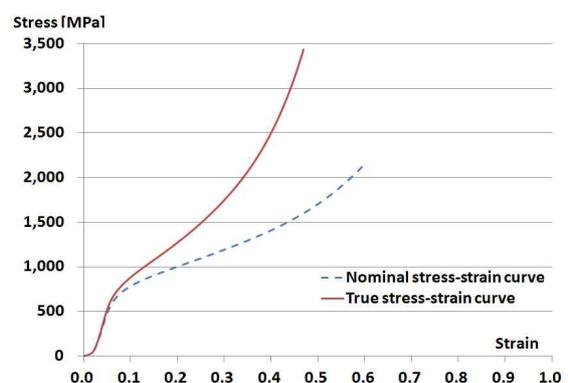


Fig. 4 Stress-strain curve of the compression test for SCM420

진력과 진변형률 선도로 나타내었으며, 확보된 데이터는 성형해석의 소재 물성으로 적용하였다.

2.2 클러치 Jaw 금형 설계 및 제작

열간 단조 공정의 특징은 고온에서 강을 가열해 변형 저항을 낮게

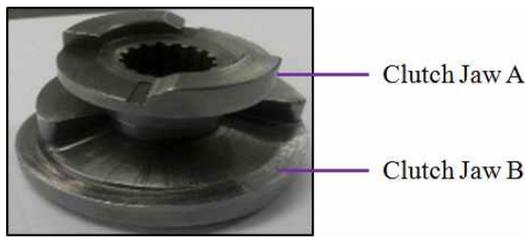


Fig. 5 Conventional product of Clutch Jaw

Table 1 Process sequence of Clutch Jaw die

1 stage	Hot forging
2 stage	Trimming
3 stage	Cold heading
4 stage	Cold sizing

하여 작은 힘으로 큰 변형을 주어 성형하는 것으로 단련효과와 더불어 재료의 개선을 도모하는 단조 방법의 하나이다. 즉, 복잡한 형상의 부품을 용이하게 성형할 수 있으나 고온이기 때문에 탈탄, 표면불량, 녹(scale)에 의한 흠 등의 결점과 고온작업 때문에 작업환경이 열악하다. 냉간 단조 공정의 특징은 가공 면이 평활하고, 제품에 탈탄층이 없고 후가공이 필요 없어 재료 회수율이 좋다. 또한, 제품의 치수정밀도가 우수하며 가공경화에 의한 기계적 성질이 향상된다. 이러한 냉간 단조와 열간 단조를 융합한 냉열간 복합 단조 기술을 적용하여 농기계용 클러치 Jaw 부품을 개발하기 위하여 최적의 공정설계를 수행하였다. 단조 공정수의 결정은 단조품의 형상과 단면 변화 정도에 따라 결정되며, 형상이 복잡하고 단면 변화가 심한 경우에도 가능한 여러 공정을 넘지 않게 설계하는 것이 좋으며, 공정수가 증가하면 원가 상승과 금형 제작비용 상승, 그리고 작업자의 피로도도 높아진다. Fig. 5는 클러치 Jaw의 기존 제품을 보여준다. 기존에는 클러치 Jaw A와 클러치 Jaw B의 2개 부품을 방향성 작업 후 조립하고 용접하여 제품을 완성하였다. 여기서 클러치 Jaw A는 원 소재 절단 후 머시닝센터 가공하여 완료하고, 클러치 Jaw B는 열간 단조 후 냉간 단조로 성형하여 최종 절삭 가공하여 완료한다.

본 클러치 Jaw 부품의 단조 공정은 총 4공정으로 1공정 열간 단조, 2공정 트리밍(trimming), 냉간 단조 공정인 3공정 냉간 헤딩(cold heading)과 4공정 냉간 사이징(cold sizing)으로 설계하였다. Table 1은 클러치 Jaw 금형의 공정 순서를 보여준다. 1공정 열간 단조 공정은 초기 소재를 $\varnothing 38 \times 68.6$ mm로 설계하였다. 또한 소재 기열온도를 $1,200^{\circ}\text{C} \sim 1,250^{\circ}\text{C}$ 로 설계하였고, 금형 파손을 방지하기 위하여 오픈 단조형(open forging type)으로 설계하였으며, 금형 내부 온도를 $300^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ 사이를 유지할 수 있도록 설계하였다. Fig. 6은 열간 단조 금형 조립도를 보여준다. 2공정 트리밍 공정은 1공정 열간 단조 공정에서 발생한 플래시(flash)를 절단하기 위하여 설계하였다. 3공정 냉간 헤딩 공정은 열간 단조 공정에서 적용한 빠기구배($3^{\circ} \sim 5^{\circ}$)

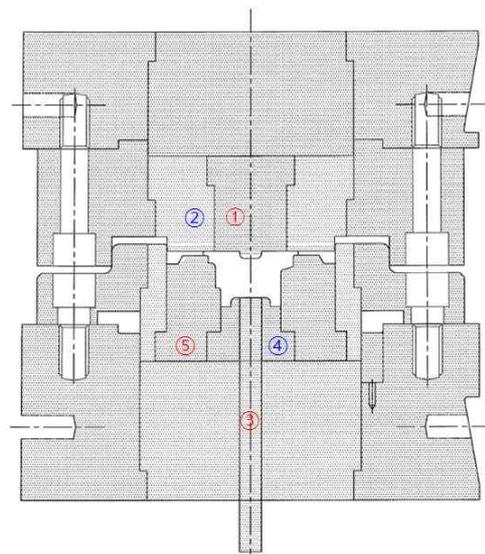


Fig. 6 1st hot forging die design of Clutch Jaw

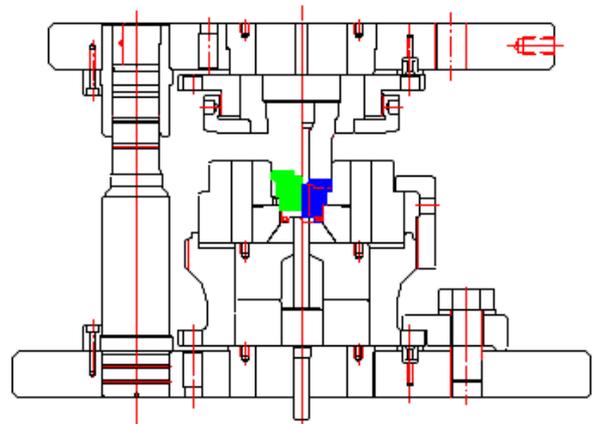


Fig. 7 3rd cold heading die design of Clutch Jaw

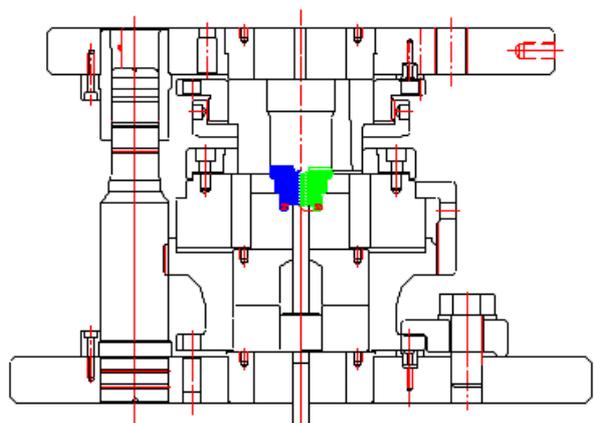


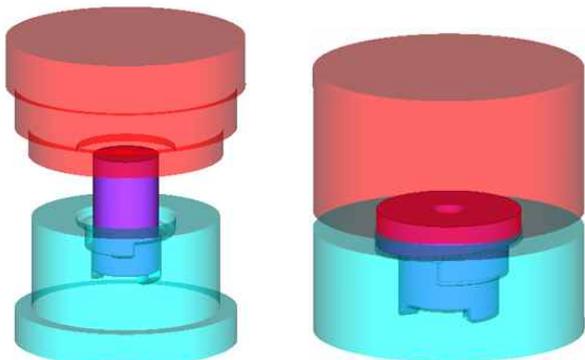
Fig. 8 4th cold sizing die design of Clutch Jaw

를 수직으로 정형하기 위하여 설계하였고, 4공정 냉간 사이징 공정은 클러치 Jaw 부품의 전체적인 최종 치수 정밀도 향상을 위하여 설계하였다. Fig. 7은 냉간 헤딩 금형 조립도를 보여주고, Fig. 8은 냉간 사이징 금형 조립도를 보여준다. 1공정 열간 단조금형의 펀치와 다이

재료는 STD61 합금 공구강을 사용하였고, 2공정에서 4공정까지 냉간용 펀치와 다이는 STD11 합금 공구강을 사용하였다.

3. 성형해석

클러치 Jaw 부품 생산을 위해 공정 설계를 진행하여 원소재 절단 후 1공정 열간 단조, 2공정 트리밍, 3공정 냉간 헤딩, 4공정 냉간 사이징으로 제품을 완성할 수 있도록 설계하였다. 2공정 트리밍과 4공정 냉간 사이징 공정은 단순히 절단과 리스트라이킹(restriking)을 하는 공정이므로 성형해석을 수행하지 않았으나, 1공정 열간 단조와 3공정 냉간 헤딩 공정은 단조 성형해석을 수행하였다. 3D CAD S/W를 활용하여 클러치 Jaw 부품과 금형을 3차원으로 모델링하였고, simufact forming S/W를 활용하여 클러치 Jaw 금형의 단조 성형해석을 수행하였다. 단조 성형해석을 위해 SCM420 소재의 압축시험 데이터를 기계적 물성으로 입력하였다. Table 2는 단조 성형해석 조건을 보여준다. 열간 단조 시 표면 스케일 등에 의해 공정별 마찰계수를 0.3, 0.5, 0.7로 구분하고, 냉간 단조 시 윤활유 사용으로 인해 공정별 마찰계수를 0.05, 0.1, 0.15, 0.2로 구분하여 단조 성형해석을 수행하였다. 프레스 성형 속도는 1공정 100 SPM, 3공정 45 SPM으로 적용하였고, 최초 원소재는 봉재 지름 38 mm에 길이 68.6 mm로 150 ton 프레스에서 금형으로 절단하여 사용하였다.



(a) 1st hot forging process (b) 3rd cold heading process

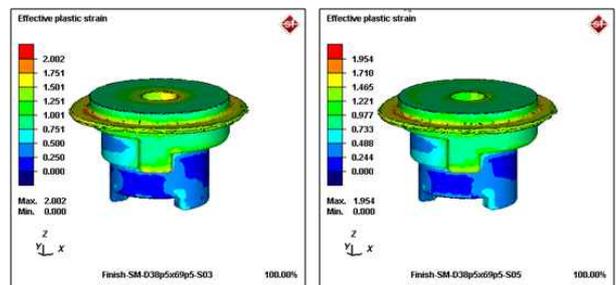
Fig. 9 3D model of Clutch Jaw die



(a) 1st hot forging product (b) 3rd cold heading product

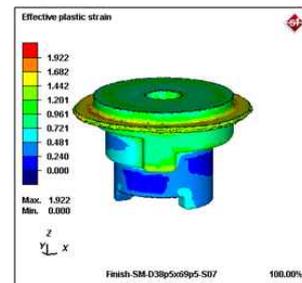
Fig. 10 Process product of Clutch Jaw die

Fig. 9는 냉열간 단조 금형의 부품 모델링을 보여주고, Fig. 10은 냉열간 단조 금형의 공정 제품을 보여준다. Fig. 11은 열간 단조 공정에서 클러치 Jaw 부품의 유효 변형률을 보여준다. Fig. 12는 열간 단조 성형해석 결과로 마찰계수에 따른 최대하중을 보여준다. 마찰계수 변화에 따라 최대하중 변화를 확인한 결과 마찰계수 0.3일 때 671 ton, 0.5일 때 694 ton, 0.7일 때 702 ton으로 나타나 마찰계수 증가에 따라 최대하중도 증가함을 알 수 있다. 또한 마찰계수에 따라 열간 단조 공정 제품의 형상 차이가 거의 없었으며, 실제 사용된 750 ton 프레스 기준으로 적용이 가능한 것으로 판단되었다. 일반적인 열간 단조 마찰 계수는 0.3을 활용하지만, 마찰이 심한 경우의 마찰계수 0.5, 0.7 등에 대해서도 성형해석을 실시하여 변형률, 온도 등을 확인하였다. 1공정 열간 단조 금형은 고온에서 작업하기 때문에 금형 파손을 방지하기 위하여 오픈 단조형으로



(a) Friction coefficient 0.3

(b) Friction coefficient 0.5



(c) Friction coefficient 0.7

Fig. 11 Effective plastic strain after 1st hot forging according to friction coefficient

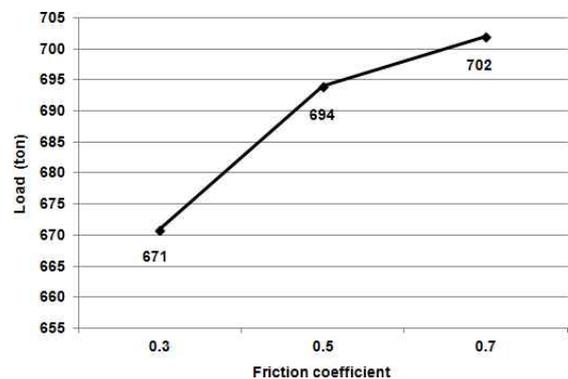


Fig. 12 Maximum load after 1st hot forging according to friction coefficient

설계하였다. Fig. 11의 1공정 열간 단조 성형해석 결과를 보면 플래시 발생이 예상되어 실제 작업 시에도 Fig. 10(a)와 같이 플래시가 많이 발생됨을 알 수 있다.

Fig. 13은 냉간 헤딩 공정에서 클러치 Jaw 부품의 유효 변형률을

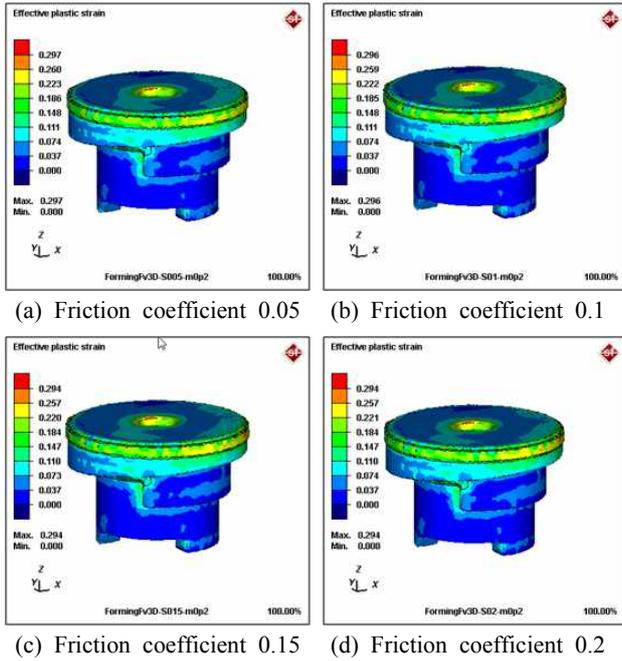


Fig. 13 Effective plastic strain after 3rd cold heading according to friction coefficient

Table 2 Forging simulation conditions

Plastic material	SCM420
Initial material size	Ø38 × 68.6 mm
Material temperature of hot forging	1,200°C
Die temperature of hot forging	350°C
Friction coefficient of hot forging	0.3, 0.5, 0.7
Friction coefficient of cold heading	0.05, 0.1, 0.15, 0.2
Hot forging velocity	100 SPM
Cold heading velocity	45 SPM

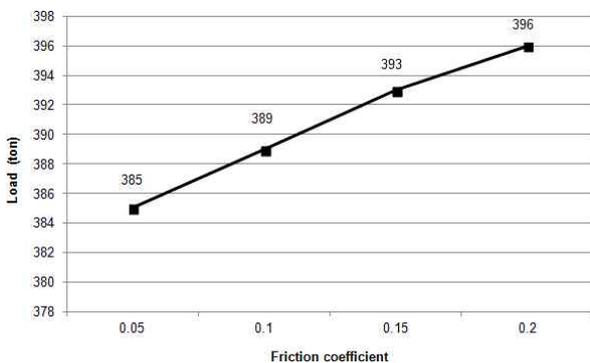


Fig. 14 Maximum load after 3rd cold heading according to friction coefficient

을 보여주고, Fig. 14는 마찰계수에 따른 최대하중을 보여준다. 냉간 헤딩 공정의 마찰 계수는 0.05, 0.1, 0.15, 0.2 등 4가지를 선정하였으며, 마찰계수별 최대하중은 385 ton, 389 ton, 393 ton, 396 ton으로 나타났다. 또한 마찰계수에 따라 냉간 단조 공정 제품의 형상 차이가 거의 없었으며, 실제 사용된 400 ton 프레스 기준으로 다소 높은 하중이 나타나 윤활을 통해 마찰력을 줄이는 것이 필요할 것으로 확인되었다.

4. 결과 및 고찰

클러치 Jaw 부품을 생산하기 위하여 150 ton 기계프레스에서 SCM420 환봉 소재를 절단하였으며, 절단된 소재를 가열하기 위하여 연속 가열로를 활용하여 소재 온도를 1,200°C~1,250°C까지 가열하였다. 절단 가열된 소재를 300°C~400°C 온도로 예열된 금형 내부에 삽입하여 750 ton 프레스에서 열간 단조 시제품을 생산하였다. Fig. 15는 냉각 전의 열간 단조 성형 제품을 보여주고, Fig. 16은 냉각 후의 열간 단조 성형 제품을 보여준다. 열간 단조 성형 후 클러치 Jaw 부품을 측정하기 위하여 Fig. 17과 같이 열간 단조 후 클러치 Jaw 부품의 이각부 높이와 내경을 측정하였다. 여기서 ①은 클러치 Jaw 이각부 높이로 설계치수 6 mm±0.2이며 6 mm~6.15 mm로 측정되었고, ②는 클러치 Jaw 내경으로 설계치수 Ø26±0.5이며 Ø26.2~Ø26.5로 측정되어 성형 정밀도



Fig. 15 1st hot forging product of Clutch Jaw before cooling



Fig. 16 1st hot forging product of Clutch Jaw after cooling



Fig. 17 Measurement of 1st hot forging product of Clutch Jaw



Fig. 20 3rd cold heading product of Clutch Jaw



Fig. 18 2nd trimming die of Clutch Jaw



Fig. 21 Flatness measurement of Clutch Jaw product



Fig. 19 2nd trimming product of Clutch Jaw

가 양호함을 확인하였다. 열간 단조 성형해석 결과에서 마찰계수 증가에 따라 최대하중이 증가하고 마찰 별 형상 차이가 거의 없이 열간 단조 성형이 가능한 것으로 판단되었다. 실제 성형 실험에서도 무윤활 상태에서 클러치 Jaw 열간 단조 성형이 가능하였다. 이는 열간 단조 성형에서 빼기구배를 적용하고 이형제를 뿌려 금형 내에 공정 부품의 달라붙음을 방지하였기 때문이라 판단된다. 즉, 열간 단조 성형 시에 이형제를 도포하므로 마찰계수가 낮아지는 효과가 있으며 이는 성형해석 결과보다 양호한 제품을 얻은 것으로 판단된다.

1공정 열간 단조 공정에서 생산된 클러치 Jaw 부품을 트리밍하기 위하여 2공정 트리밍 금형에서 트리밍 공정 제품을 확보하였다. 즉, 프레스에 설치된 트리밍 금형에 1공정 제품을 삽입하여 외곽에 발생된 플래시를 제거하였다. Fig. 18은 110 ton 프레스에 장착된 2공정 트리밍 금형을 보여주고, Fig. 19는 2공정 트리밍 금형에서

생산된 공정 제품을 나타낸다. 3공정 냉간 헤딩 금형은 400 ton 프레스에 장착되어 2공정 트리밍 금형에서 확보된 클러치 Jaw 공정 제품을 성형하였다. Fig. 20은 냉간 헤딩 금형에서 생산된 공정 제품을 보여준다.

냉간 헤딩 성형해석 결과에서 하중은 마찰계수 증가에 따라 최대 하중이 증가하고 마찰 별 형상 차이가 거의 없이 냉간 헤딩 성형이 가능한 것으로 판단되었으며, 실제 성형 실험에서도 윤활제를 사용하여 클러치 Jaw 냉간 헤딩 성형이 가능하였다.

냉간 헤딩 금형으로 확보된 클러치 Jaw 공정 부품을 냉간 사이징 금형에서 최종 치수 정밀도를 만족하는 성형제품을 얻을 수 있었다. 즉, 냉간 사이징 금형은 400 ton 프레스에 금형을 설치한 후 냉간 헤딩 공정 제품을 삽입하여 최종 제품을 얻을 수 있었다. Fig. 21은 농기계용 클러치 Jaw 부품의 평행도 측정 위치를 보여준다. 농기계용 클러치 Jaw 최종 제품에 대한 평행도를 3차원 측정기를 사용하여 1번 평면을 측정한 후 2번 평면에 대한 평행도를 측정하였다. 평행도는 시료 5개에 대한 측정결과 0.178 mm로 정밀도를 만족하였다.

5. 결론

본 연구는 정밀 냉열간 단조기술을 적용한 농기계용 이양기 클러치 Jaw 부품 일체화 성형기술을 개발하기 위한 냉열간 성형 공법

을 제시하였다. 클러치 Jaw 부품의 냉열간 성형 공법 적용을 위하여 소재 물성평가와 단조 성형해석, 시작금형 제작, 시제품 성능평가를 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 클러치 Jaw 부품의 원소재인 SCM420에 대한 기계적 성질을 파악하기 위하여 압축 시험을 통해 응력-변형률 선도를 얻을 수 있었으며, 단조 성형해석 시에 적용하여 보다 정확한 해석 결과를 얻을 수 있었다.

(2) 열간 단조 공정의 성형해석에서 소재 온도는 1,200°C, 금형 온도는 350°C로 적용하였고, 마찰계수 0.3, 0.5, 0.7로 적용한 결과 마찰 별 형상 차이가 거의 없이 무윤활 상태에서 클러치 Jaw 열간 단조 성형이 가능함을 확인하였다.

(3) 냉간 헤딩 성형해석 결과에서 하중은 마찰계수 증가에 따라 최대하중이 증가하고 마찰 별 형상 차이가 거의 없이 냉간 헤딩 성형이 가능함을 확인하였고, 실제 성형 실험에서도 윤활제를 사용하여 클러치 Jaw 냉간 헤딩 성형이 가능하였다.

(4) 클러치 Jaw 부품 생산을 위해 열간 단조, 트리밍, 냉간 헤딩, 냉간 사이징 공정 순으로 설계되었으며, 냉간 사이징 공정에서 치수 정밀도가 우수한 최종 시제품을 확보할 수 있었다.

(5) 농기계용 이앙기 클러치 Jaw 부품에 대한 냉열간 단조 기술을 확보함으로써 생산성 향상과 원가 절감이 가능할 것으로 예상된다.

References

- [1] Yoon, J. H., Lee, S. I., Jeon, H. W., Lee, J. H., 2013, Study on the Lubrication Characteristics at the Elevated Temperature in Hot Forging Test with Extruded AZ80 Mg Alloy, Transactions of Materials Processing, 22:2 108~113.
- [2] Suh, C. H., Kim, W. S., Sung, J. H., Park, J. K., Kim, Y. S., Kim, Y. S., 2015, Hot Stamping Simulations and Experiments for CTBA Tubular Beams, Transactions of Materials Processing, 24:1 13-19.
- [3] Kwon, Y. N., Kim, S. W., Kim, B. J., Park, E. S., Cha, D. J., 2011, Development of Flow Forming Process for Hollow Shaped Parts from Seamless Steel Tube, Transactions of Materials Processing, 20:8 611-618.
- [4] Lee, H. S., 2015, A Study on the Optimum Design for Energy Saving of an Auto Transmission Part, Transactions of Materials Processing, 24:3 181-186.
- [5] Kwon, H. H., Moon, K. J., Song, S. E., 2010, Forging Process Analysis of the Multi-forging Die for the Unified Universal Pipe Joint of the Intermediate Shaft, Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, 19:1 33-41.
- [6] Song, S. E., Kwon, H. H., 2012, A study on the Cold Forging Development of Guide Valve for the Fuel Pressure Regulator, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 21:2 331-336.
- [7] Kang, B. S., Ku, T. W., 2014, Process Modification and Numerical Simulation for an Outer Race of a CV Joint using Multi-stage Cold Forging, Transactions of Materials Processing, 23:4 211-220.
- [8] Jeon, H. W., Yoon, J. H., Lee, J. H., Kim, B. M., 2014, Plate Forging Process Design for an Under-drive Brake Piston in Automatic Transmission, Transactions of Materials Processing, 23:2 88-94.