

실험용 복동식 유압프레스를 이용한 유동제어 성형공정 기반

Development of Flow Control Forming Process using Experimental Multi-action Hydraulic Press

*# 박종남¹, 김남석²

*# J. N. Park(njp3836@chol.net)¹, N.S.Kim²

¹국방기술품질원, ²삼호정밀(주)

Key words : Double-action Hydraulic Press, Flow Control Forming, Net Shape Forming

1. 서론

산업의 고기능화, 고효율화의 추세에 따라 프레스 제품의 경우도 제조원가를 줄이기 위한 정형가공(net shape forming)의 필요성이 증가하고 있다.

소량다품종 생산품의 치수정밀도와 재료강도 증가가 요구됨에 따라 기존의 기계가공, 주조, 다이캐스팅 등의 제품을 두가지 이상의 가공방법을 조합하여 공정수를 최소화시킨 새로운 제작방법이 고려되고 있다. 즉 일반 판금성형에 냉간단조기술을 조합한 복합성형기술인 유동제어성형(FCF: flow control forming) 기술이 그것이다.(1) 이들 제품제작은 기존의 프레스가공이 판두께 일정이 원칙이었던 방법과는 달리 한 공정안에서 판두께가 서로 다른 가공을 한다는 점에서 작동원이 복수인 복동성형단조(double-action forming forging)로 가능하며 이를 위해 복동식 유압프레스가 필요하다.(2)

본 연구에서는 유동제어 성형공법을 소개하고 이 기술의 적용가능성을 검토하기 위해 기존 실험용 프레스를 유동제어가 가능하도록 복동식 유압프레스로 개조하였으며, 실험은 재료 가압시 유동제어가 대체로 크게 나타날 수 있는 제품을 대상으로 플라스틱인 재료로 모델실험하여 그 가능성을 입증하였다.

2. 유동제어 성형(FCF) 기술

고정밀도의 정형가공은 보다 복잡한 형상, 즉 제품두께가 각 부에서 달라지는 형상의 프레스가공이 필요하게 된다. 일반 판금성형에 냉간단조를 조합한 복합성형단조로의 유동제어 성형기술은 재료에 소성유동을 적극적으로 부여하여 단면형상을 변화시키므로써 가능하다.(3,4) Fig. 1은 판재 성형법과 일반 냉간단조공법이 복합적으로 이루어진 유동제어 성형공법을 보여주고 있다. 이 기술의 도입은 재료에 소성유동을 원활하게 하여 복잡한 단면의 형상에 대하여 성형성을 크게 향상시킨다. 따라서 소결, 다이캐스팅, 인젝션 몰드등의 공법을 프레스 가공으로의 전환이 가능하게 하여 고정밀도 가공의 비용 삭감, 고부가가치 가공의 비용절감, 재료손실을 줄이는 대체 효과를 가져온다.(5)

Nakano는 이러한 소성유동을 제어하는 정형가공의 유용한 방법인 복동성형과 복합 단조기술이 다이캐스팅등 다른 분야로의 공법전환이 가능케 되어 프레스가공 분야가 확대될 것으로 전망했다.(2) Ishinaga는 정형의 제품생산을 위한 냉간 단조용 프레스 설계에 대하여 연구하였다. 그는 단조 정밀도에 영향을 주는 가장 큰 요소는 프레스기계로 보고 정밀도 향상을 위한 프레스 주변장치 등에 대해 소개하였으며, 또한 프레스 슬라이드 속도는 압출품 직경의 정밀도에 영향을 주는 것으로 밝히고 있다.(6) Osakada 등은 전후방 압출공정에서 컨테이너 구동을 통한 유동제어로 소재의 전후방 금형내의 동시 충만을 통한 압출하중 감소에 대하여 연구하였다.(7)

그러나 이 기술은 작동원이 두 개 이상인 복동방식의 프레스가 필요하다.

따라서 금형의 펀치나 맨드렐 등의 작동원이 프레스의 슬라이드 작동을 포함하여 복수이고 이들이 한 스트로크내에서 각각 상대 작동함으로써 속도제어가 가능하고 재료의 소성유동을 제어할 수 있게 된다.

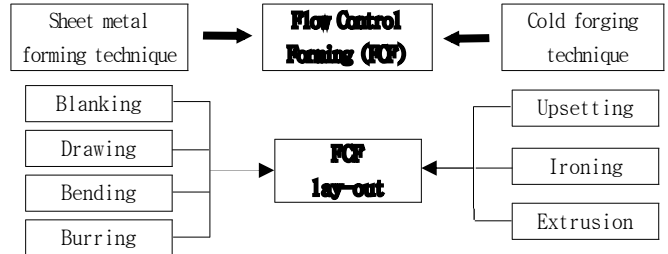


Fig. 1 Formation of flow control forming

3. 복동식 유압프레스 구성

실험용 복동식 유압프레스는 기존의 프레스를 이용해 복동식 유동제어가 가능하도록 설비를 개조하였다. 개조부위는 크게 3가지 부위로서, 실험이 가능하도록 알루미늄 더미를 제작, 원하는 위치에 가압시 자동 정지될 수 있는 리미트 스위치 설치, 로드셀 구성 그리고 유량제어를 정확하게 할 수 있는 유압밸브를 구성하였다.

유동제어 성형기술의 가장 큰 특징은 제품의 성형조건을 만족하는 최적의 가공속도를 제어하는 기술이다. 따라서 구동부의 상대속도를 자유로이 조절할 수 있고 일정한 속도비를 얻을 수 있는 장치가 무엇보다 중요하다. 본 장비에서는 정전류(定電流) 컨트롤러 방식의 제품(모델: 2FRE valve)을 유압밸브 사양으로 선택하여 토출 유량제어를 통해 정확하게 속도제어가 가능하도록 하였으며, 그리고 조절 가능한 속도는 유압회로를 병렬로 구성하여 실험조건에 따라 8 스텝까지 다양하게 선택하여 실험하도록 구성하였다.

또한 복동식 프레스는 구동부의 스트로크 양에 따라 제품 성형성에 미치는 영향이 크므로 스트로크 제어가 매우 중요한 요소이다. 특히 사용되는 소재가 박판일 경우와 최종 제품의 상하단부 형상이 두께가 얇은 부위가 존재할 경우에는 구동부의 최하사점 정지제어는 소재 유동성에 직접적인 영향을 미치므로 제품형태에 무엇보다 중요하게 작용한다. 따라서 각 실린더의 하강 구동시 정확한 스트로크량 제어와 금형과의 충돌 가능성을 방지하기 위해 프레스 후면에 장착된 브라케트에 두 개의 리미트 스위치(limit switch)를 부착하여 각 실린더가 원하는 최하단 위치에 이르렀을 때 스톱퍼(stopper)로 리미트 스위치를 작동시켜 자동으로 유압라인이 차단됨과 동시에 각 실린더가 정지하도록 구성하였다. 전원 조정계기판(main electric control panel)은 장비와 분리 설치하였고, 모든 작동 조정은 전자기 푸시버튼(electro-magnetic push buttons)을 이용해 "On/Off" 방식으로 하였다.

4. 유동제어 해석 및 실험 결과

4.1 금형 및 시편제작

복동식 유압프레스를 이용해 허브 제품을 실험하기 위해 금형을 제작하였다. 맨드렐은 AISI 1045 재질로 담금질 및 뜨임 처리를 하였고, 상부 펀치 및 하부금형은 AISI S1 소재상태로 제작하였다. 또한 실험에 사용된 모델재료는 순수 플라스틱인으

로, 이 재료는 상온에서의 유동특성이 1000℃ 전후의 강과 매우 유사하여 각종 가공법의 모델재료로써 널리 이용되고 있다.(8) 시편은 플라스틱을 반죽하여 만들었으며, 특히 균일한 시편을 만들기 위해 시편제작용 치구를 별도로 제작하여 이용하였다. 초기 시편 치수는 외경 65.66mm, 내경 7mm, 두께 7mm인 빌렛을 사용하였다.

4.2 유동제어 공정해석 및 실험결과

허브제품 단조성형은 사용되는 실제 소재인 AISI 1010로서 약 1300톤의 성형하중이 작용되므로, 모델재료로 많이 사용되는 플라스틱을 이용해 성형가능성을 검토하였다. 해석은 강소성 유한요소법을 이용하였으며, 해석에 사용된 유동 응력식은 다음과 같다.

$$\sigma = 0.224 \varepsilon^{0.117} \text{ (Mpa)}$$

소재와 금형의 접촉면은 탈크 파우더로 윤활처리를 하여 마찰 계수는 마찰상수 $m=0.6$ 로 하여 해석을 수행하였다.(9) 성형해석에는 강소성 유한요소 상용코드인 DEFORM 2D를 이용하였다.

유동제어 성형기술의 장점은 기존 여러번의 성형공정을 한번의 성형공정으로 가능하다는 점이다. 따라서 허브제품에 대한 한 단계의 작업만으로 성형 가능 여부를 평가하였다. 우선 해석을 위해서 금형구조는 밀폐형으로 구성하여 펀치와 맨드렐의 속도를 달리하면서 성형해석을 수행하였다. 펀치와 맨드렐의 속도는 펀치의 속도에 대한 맨드렐의 속도비를 상대 속도비(RVR: relative velocity ratio)로 정의하고 상대 속도비를 조정하여 해석을 수행하였다. 해석결과 상대 속도비에 관계없이 전반적으로 유동 결합의 일종인 래핑(lapping)현상이나 재료 미충만(unfilling) 영역이 발생되었다. 다음은 유동결합을 방지하기 위한 방안으로서 금형구조를 밀폐형에서 플레시가 있는 구조로 변경하여 해석을 수행하였다. 이 경우에는 상대 속도비가 상대적으로 적은 약 1:5에서 1:10범위가 가장 양호한 성형조건임을 알 수 있었다.

다음은 해석내용을 검증하기 위하여 모델실험한 내용이다. 실험방법은 상부 펀치는 프레스 슬라이드 프레임에 그리고 맨드렐은 중앙부위 실린더에 클램프로 고정하였다. 하부금형은 하부 플레이트에 네개의 볼트로 고정된다. 또한 플라스틱 성형 시 제품 플랜지 부위의 소재유동은 간극조정용 플레이트로 적절히 제어하여 허브 제품의 몸체부분과 플랜지 부위로의 결합 발생없이 원활하게 소재가 흐르도록 하였다. 하부 플레이트는 펀치 및 맨드렐의 하강 스트로크량을 고려하여 프레스 베드 프레임 상에 알루미늄 더미(dummy)를 설치하였다. 또한 하부금형이 항상 중앙에 위치하도록 약 0.5mm 깊이의 홈을 만들어 성형 작업시 진원도 불량에 의한 결합 발생을 최소화시켰다. 펀치와 맨드렐의 스트로크는 상대 속도비를 기준으로 조정하여 실험하였다.

실험은 펀치와 맨드렐의 상대 속도비를 증가시키면서 실시한 결과 상대 속도비가 약 1:3로부터 1:10범위에서는 Fig. 2(a)와 같이 대부분 양호한 형상을 얻을 수 있었지만 속도비가 15, 20, 30, 40로 커질수록 Fig. 2(b,c,d)처럼 래핑현상과 소재 미충만 현상이 두드러지게 나타나 이론해석 결과와 대체로 잘 일치하였다. 그러나 상대 속도비가 1:5 및 1:7 등의 범위에서는 제품 끝부위 형상이 일부분 불안정(소재 미충만 등)하게 나타났다. 이것은 펀치와 맨드렐의 성형이 동시에 끝나지 않아 발생된 것으로 사료된다.

결국 본 복동식 유압프레스는 유동제어 성형기술에 적용가능함을 입증할 수 있었다. 다만 펀치와 맨드렐의 정확한 스트로크 제어를 통해 각각 동시 성형작업이 완료될 수 있도록 장치가 보완되어야 할 것으로 나타났다.

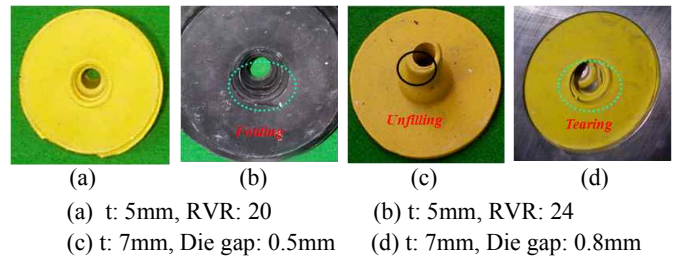


Fig. 2 Final products by model material experiment

5. 결론

유동제어 성형기술에 적용하기 위해 구동속도가 최대 24.04mm/sec, 가압속도가 최소 0.6mm/sec인 실험용 복동식 유압 프레스(30톤×2+20톤)를 보완 개조하였다. 개조된 프레스를 이용하여 자동차용 허브제품에 대해 플라스틱인 모델실험을 실시하였다. 그 결과 각 실린더의 상대속도비가 제품성형에 가장 큰 영향을 미침을 알 수 있었고, 또한 두 구동실린더의 성형종료 시간차로 인해 제품결합이 발생할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 제품성형 종료시간이 정확하게 제어되도록 하는 장비 보완이 요구되었다.

결국 본 프레스를 이용해 허브제품의 유동제어 성형공법으로의 적용 가능성이 입증됨에 따라, 향후 이 기술의 폭넓은 실험연구가 수행 가능하리라 사료된다.

참고문헌

1. T. Nakano, K. Ashihara, "Sheet Thickness and Shape Control(FCF method), Die Engineering, Nikkan Kogyo Shimbun Inc., July. 1993
2. T. Nakano, "Modern applications of complex forming and multi-act-tion forming in cold forging", J. Mat. Proc. Tech., No. 46, pp.201-226, 1994
3. Sun Sheng, Luan Yi Guo, "A die forging design approach for control-ling metal flow way and its application in practice", Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol.34, No.2, pp.161-167, 1994
4. T. Altan, R. Allen Miller, "Design for forming and other near net shape manufacturing processes" Annals of the CIRP Vol.39, pp. 609-620, 1990
5. "금형설계" 성안당
6. N. Ishinaga, "An advanced press design for cold forging", J. Mat. Proc. Tech., No. 71, pp. 100-104, 1997
7. Kozo Osakada, Xin Wang and Shinji Hanami, "Forward-Backward Extrusion with Axially Drive Container", JSTP, Vol. 37 No. 30, pp. 1154-1179
8. T. Wanheim and J. Danckert, "Combined Physical and Numerical Modeling of Metal Forming Process", Advanced Technology of Plasticity, Vol. I, pp. 29-36, 1987
9. 박근, 신민철, 양동열, 조종래, 김중수, "모델재료와 SLA 시금형을 이용한 터빈 블레이드 열간단조 공정의 모사실험" 한국소성 가공학회 논문집, 제4권 제4호, pp. 335-344, 1995