

복동링크유압식 다이세트를 이용한 폐쇄단조의 폐쇄단조조건

전병윤¹, 박래훈², 엄재근², 전만수[#]

Criterion on Enclosed Die Forging with a Double-Action Link-Type Hydraulic Die Set

B. Y. Jun, R. H. Park, J. G. Eom, M. S. Joun

Abstract

In this paper, a criterion on enclosed die forging with a double action link type hydraulic die set is presented. Operational principle of the die set in enclosed die forging is introduced with emphasis on force transfer from the press and the hydraulic system to the material through links, die components and punches. Force transfer mechanism is examined and three different modes are introduced. Requirements on force equilibrium are applied to the three force transfer modes and a criterion on enclosed die forging with a double action link type hydraulic die set is drawn. The criterion is discussed to minimize forming load.

Key Words : Enclosed Die Forging, Double Action Link Type Hydraulic Die Set, Criterion on Enclosed Die Forging

1. 서론

국내외의 자동차부품회사는 최근의 소재 가격 상승으로 원가 상승의 부담과 동시에 수요처의 원가 절감 요구를 동시에 받고 있으며, 이에 능동적으로 대응하기 위한 다각도의 노력을 경주하고 있다. 이러한 제조원가의 절감의 요구에 부응하기 위하여 소재의 낭비를 줄이고 고품질을 유지하는 생산방법으로 소성가공, 특히 정밀정형성형 기술이 주목을 받아 왔다. 더욱이 지구온난화 등 환경문제의 악화, 자동차 보증기간의 확대, 부품 수의 축소 및 소형경량화 등의 세계적 추세로 말미암아, 정형단조에 의한 기어류 및 정밀기계 부품 제조 비중의 증가는 불가피하다. 우리나라의 경우, 국제 경쟁력을 확보하고 있는 단조기술의 우위를 지속적으로 유지하기 위해서 기술 선도와 기술

파급 효과가 크고, 부가가치가 높은 기어류 및 정밀기계 부품의 정밀정형단조[1-3] 기술에 관한 연구개발이 지속되어야 한다.

기어류 및 정밀기계 부품의 정밀정형단조에 필요한 요소기술로는 폐쇄단조 및 관련 다이세트 기술, 최적 금형 설계 기술, CAE 해석 기술, 금형가공 기술, 금형 열처리 및 소재 기술, 품질평가 시스템 기술, 장비 및 생산 기술 등이 있다. 현재 국제적으로 널리 사용되고 있는 폐쇄단조용 다이세트는 니찌다이형(NICHIDAI type)과 코마츠형(KOMATSU type)이 있다[2]. 니찌다이형은 링크를 사용하는 방식으로 시스템이 단순하며 강도 확보가 용이하고 다이세트의 평형도 조정이 양호하여 가공 정도가 좋은 장점이 있으므로 가장 널리 사용되고 있다. 반면 코마츠형은 랙과 피니언을 사용하는 방식으로 제품의 정도가 기어의 정도에

1. 경상대학교 대학원 기계공학과, 전ENG.

2. 경상대학교 대학원 기계공학과

교신저자: 경상대학교 기계항공공학부,

E-mail: msjoun@gnu.ac.kr

영향을 많이 받으며, 상금형과 하금형의 속도비가 2:1 로 일정하다. 니찌다이 형은 상하의 링크 길이를 변경시킴으로써 상부와 하부의 속도를 다양하게 변화시킬 수 있는 장점도 있다. 우리나라의 단조업계에서는 대부분 니찌다이 형의 폐쇄단조용 다이세트를 사용하고 있다. 우리나라는 이 분야에서 단순 모방 수준에 머무르고 있으며, 이 기술이 일본의 니찌다이 사의 특허이기 때문에 학술적 연구가 그 중요성에 비하여 많이 이루어지지 않았다. 그러나 2006 년 중에 이 기술에 관한 특허권의 존속기간이 만료되기 때문에 보다 활발한 응용 연구가 이루어질 것으로 사료된다.

폐쇄단조용 다이세트는 일반 다이세트에 비하여 매우 복잡한 기구학적 및 역학적 특성을 지니고 있으므로 기구학적 및 역학적 해석이 개발과 운용에 앞서 필수적이다. 지금까지 폐쇄단조용 다이세트를 이용한 기어류의 응용연구는 링크시스템을 제외한 연구와 단동식 폐쇄다이세트에 관한 연구가 많았다. 비록 정밀정형단조 및 폐쇄단조에 관한 응용연구가 다수의 연구자들[4-7]에 의하여 이루어졌지만, 링크시스템과 연관된 문헌이 발표된 바가 없으므로 체계적인 연구가 폐쇄단조용 다이세트의 개발과 활용의 양면에서 절실하다고 사료된다. 따라서 본 연구에서는 폐쇄단조의 필수조건인 폐쇄단조용 복동링크유압식 폐다이세트의 작동원리를 소개하고 역학적 해석을 실시하여 폐쇄단조조건을 제시함으로써 관련 기술의 개발 및 응용 기술의 고도화에 이바지하고자 한다.

2. 폐쇄단조용 복동링크식 다이세트의 작동원리

Fig. 1 은 복동링크유압식 폐쇄단조용 다이세트의 개념도와 각 구성품의 명칭을 나타낸 것이다. 폐쇄단조용 다이세트는 크게 상부, 중부, 하부 등으로 나눌 수 있다. 상부는 슬라이더(slidebar), 상판(upper plate), 상유압실린더(upper hydraulic cylinder), 상금형 또는 상형(upper die), 상편치(upper punch) 등으로 구성되고, 중부는 중간판(middle plate)과 링크(link)로 구성되며, 하부는 볼스터(bolster), 하판(lower plate), 하유압실린더(lower hydraulic cylinder), 하금형 또는 하형(lower die), 하편치(lower punch)

등으로 구성되어 있다.

복동링크유압식 다이세트의 작동원리를 살펴보자. 슬라이더가 하강하면서 상판과 링크가 접촉하게 된다. 이 과정에서 소재에 소성변형이 발생한다면, 그것은 일반 단조의 변형과 동일하다. 이때부터 상부와 링크 시스템에 의하여 부가된 속도로 상형과 하형이 단힐 때까지 하강한다. 상형과 하형이 단혀지면, 상형과 하형의 속도는 중간판의 속도와 동일하게 되며, 상형과 상편치 사이와 하형과 하편치 사이의 상대운동이 발생하게 된다. 그 결과, 상부와 하부의 편치가 상대운동에 의하여 소재에 성형하중을 가하게 된다. 이 때 상형과 하형에 작용하는 분리력(enclosed die separating force), 즉 상금형 하중과 하금형 하중은 유압 시스템에 의하여 지탱된다.

링크 시스템은 상부의 운동과 연계된 중간판의 운동을 통제하고 이 운동에 필요한 힘을 전달하는 역할을 한다. 링크의 운동과 관련된 내용은 참고문헌[8]에서 상술하였다. 상부와 하부의 유압실린더는 폐쇄 이전에는 금형과 다이세트간의 상대운동을 방지하는데 필요한 하중 또는 성형하중을 지탱하며 상부와 하부의 금형이 폐쇄된 이후 이를 유지하는데 필요한 폐쇄하중을 지탱한다. 상부와 하부의 편치는 금형이 폐쇄된 후 소재를 밀폐된 금형 공간에 채움으로써 소재를 원하는 형상으로 성형하는 역할을 담당한다.

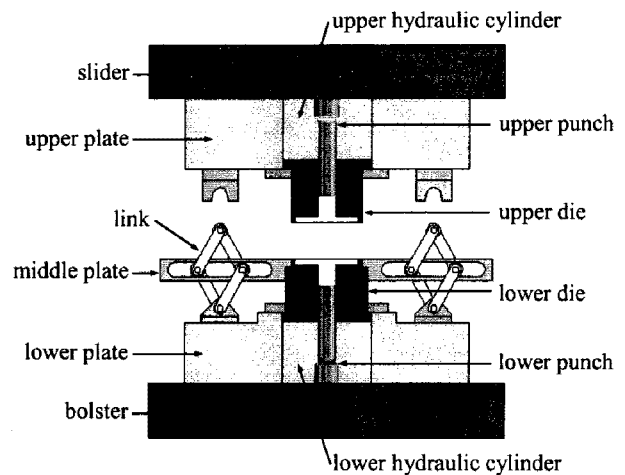


Fig. 1 Conceptual drawing of the enclosed die forging die set

3. 폐쇄단조용 복동링크유압식 다이세트의 폐쇄단조조건

폐쇄단조는 일반단조와 달리 성형하중을 소재에 전달하는 메카니즘이 복잡하며, Fig. 2 에서 보는 바와 같이, 복동링크유압식 다이세트의 경우 크게 3 가지의 하중 작용 모드로 구분할 수 있다. 첫 번째 모드(Mode 1 이라고 함)는 상판이 링크시스템에 접촉하지 않은 상태이며, 두 번째 모드(Mode 2 라고 함)는 링크시스템에 하중이 부과되었으나 폐쇄가 되지 않은 상태이고, 세 번째 모드(Mode 3 이라고 함)는 링크시스템에 하중이 부과되면서 동시에 폐쇄가 일어난 상태이다.

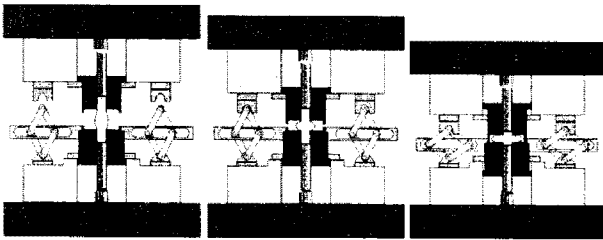


Fig. 2 Three different modes in the enclosed die forging

Fig. 3 은 각 모드에 대한 자유물체도이며, 성형하중의 작용 메카니즘을 나타내고 있다. Fig. 3 에서

- F_p : 프레스 하중
- F_{U_D} : 상금형 하중
- F_{U_P} : 상편치 하중
- F_{U_E} : 상부 폐쇄하중
- F_L : 링크 하중
- F_{L_D} : 하금형 하중
- F_{L_P} : 하편치 하중
- F_{L_E} : 하부 폐쇄하중
- F_{U_i} : 상금형과 상판의 접촉으로 발생하는 하중
- F_{L_i} : 하금형과 하판의 접촉으로 발생하는 하중
- F_C : 폐쇄로 인하여 상금형과 하금형 간에 작용하는 하중

을 각각 의미한다.

Mode 1 에서는 하판과 하금형이 접촉상태에 있기 때문에 Fig. 3(a)에서 보는 바와 같이 접촉하중 F_{L_i} 가 작용하며, Mode 1 과 Mode 2 에서는 상판과 상금형이 일체로 움직이기 때문에 Fig. 3(a)와 (b)에서 보는 바와 같이 접촉하중 F_{U_i} 가 작용한다. 그리고 Mode 2 와 Mode 3 에서는 링크를 통하여 상판에서 중간판으로 하중이 전달되므로 Fig. 3(b)

와 (c)에서 보는 바와 같이 F_L 이 작용하고, 폐쇄가 발생하면 상금형과 하금형 간에 접촉하중 F_C 가 작용한다.

한편, F_{L_i} , F_{U_i} , F_L , F_C 는 모두 접촉을 통하여 발생되기 때문에

$$F_{L_i} \geq 0 \quad (1)$$

$$F_{U_i} \geq 0 \quad (2)$$

$$F_L \geq 0 \quad (3)$$

$$F_C \geq 0 \quad (4)$$

의 접촉 유지 조건을 만족해야 한다.

Fig. 3(a), (b), (c)에 힘의 평형조건을 적용하여 정리하면, 다음과 같다.

(i) Mode 1

$$F_p = F_{U_E} + F_{U_P} - F_{U_i} \quad (5)$$

$$F_{U_i} = F_{U_E} - F_{U_D} \quad (6)$$

$$F_{U_P} + F_{U_D} = F_{L_P} + F_{L_D} \quad (7)$$

$$F_{L_i} = F_{L_E} - F_{L_D} \quad (8)$$

(ii) Mode 2

$$F_p = F_{U_E} + F_{U_P} + F_L - F_{U_i} \quad (9)$$

$$F_{U_i} = F_{U_E} - F_{U_D} \quad (10)$$

$$F_{U_P} + F_{U_D} = F_{L_P} + F_{L_D} \quad (11)$$

$$F_{L_E} = F_L + F_{L_D} \quad (12)$$

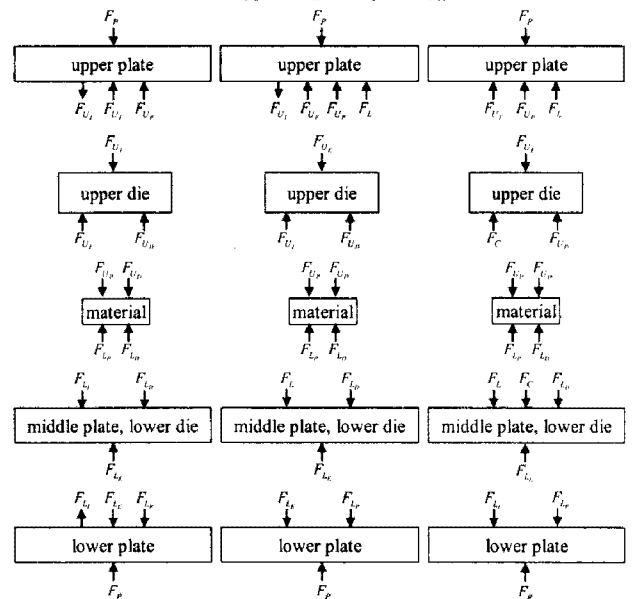
(iii) Mode 3

$$F_p = F_{U_E} + F_{U_P} + F_L \quad (13)$$

$$F_C = F_{U_E} - F_{U_D} \quad (14)$$

$$F_{U_P} + F_{U_D} = F_{L_P} + F_{L_D} \quad (15)$$

$$F_{L_C} = F_L + F_C + F_{L_D} \quad (16)$$



(a) Mode 1

(b) Mode 2

(c) Mode 3

Fig. 3 Free body diagram of the double-action link type hydraulic die set for enclosed die forging

따라서 링크 하중 F_L 은

(i) Mode 1
$$F_L = 0 \quad (17)$$

(ii) Mode 2
$$F_L = F_{L_E} - F_{L_D} \quad (18)$$

(iii) Mode 3
$$F_L = F_{L_E} - F_{U_E} + F_{U_D} - F_{L_D} \quad (19)$$

이고, 성형하중 F_p 는 다음과 같다.

(i) Mode 1
$$F_p = F_{U_D} + F_{U_p} = F_{L_D} + F_{U_p} \quad (20)$$

(ii) Mode 2
$$F_p = F_{L_E} - F_{L_D} + F_{U_D} + F_{U_p} \quad (21)$$

(iii) Mode 3
$$F_p = F_{L_E} - F_{L_D} + F_{U_D} + F_{U_p} \quad (22)$$

그리고 식 (1)-(4)의 접촉유지조건으로부터 다음의 성형조건 식을 유도할 수 있다.

(i) Mode 1
$$F_{L_E} - F_{L_D} \geq 0, \quad F_{U_E} - F_{U_D} \geq 0 \quad (23)$$

(ii) Mode 2
$$F_{L_E} - F_{L_D} \geq 0, \quad F_{U_E} - F_{U_D} \geq 0 \quad (24)$$

(iii) Mode 3
$$F_{L_E} - F_{L_D} \geq F_{U_E} - F_{U_D} \geq 0 \quad (25)$$

식 (25)의 조건이 성립하면, 식 (23)과 식(24)의 조건은 자동적으로 성립한다. 일반적으로 폐쇄단조 중 폐쇄압을 변화시키지 않으며, 폐쇄단조에서 Mode 3 이 사실상 주 공정이므로 식 (25)가 식 (23)과 식 (24)를 대표한다고 간주할 수 있다. 따라서 식 (25)를 폐쇄단조조건(Criterion on enclosed die forging, condition for enclosed die forging)이라고 부르기로 한다.

4. 결 론

본 연구에서는 폐쇄단조용 복동링크유압식 다이세트의 정역학적 해석을 실시하였다. 이를 위하여 폐쇄단조용 복동링크유압식 다이세트의 작동 원리를 분석하여 역학적으로 서로 다른 3 개의 모드로 구분하였으며, 각 모드에 대하여 힘의 평형조건을 적용하여 폐쇄단조조건을 유도하였다.

제시된 폐쇄단조조건은 유압 시스템 및 프레스의 최적 조건을 설정하는데 필수적인 것으로 폐쇄단조 공정 설계 실패의 최소화와 최적공정설계의 실현에 크게 이바지할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 한국산업기술재단에서 지원한 지역 혁신인력양성사업, 중소기업청에서 지원한 기술연구회 사업 및 2006 년도 지방대학혁신역량강화사업(NURI)의 일환으로 실시된 연구 결과의 일부임.

1.

참 고 문 헌

[1] K. Siegert, M. Kammerer, Th. Keppler-Ott, D. Ringhand, 1997, Recent developments on high precision forging of aluminum and steel, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 71, pp. 91~99.

[2] H. Yoshimura, K. Tanaka, 2000, Precision forging of aluminum and steel, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 98, pp. 196~204.

[3] E. Doege, R. Bohnsack, 2000, Closed die technologies for hot forging, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 98, pp. 165-170.

[4] 박종진, 이정환, 이영선, 1996, 베벨기어 폐쇄단조의 유한요소해석, 대한기계학회논문집(A), 제 20 권 제 8 호, pp. 2458~2467.

[5] J. C. Choi, Y. Choi, 1999, Precision forging of spur gears with inside relief, Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 42, pp. 1214~1222.

[6] A. G. Mamalis, D. E. Manolacos, A. K. Baldoukas, 1996, Simulation of the precision forging of bevel gears using implicit and explicit FE techniques, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 57, pp. 164-171.

[7] K. Kondo, K. Ohga, 1995, Precision cold die forging of a ring gear by divided flow method, Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 35, pp. 1105~1113.

[8] 박래훈, 전병윤, 이민철, 전만수, 2006, 폐쇄단조용 복동링크식 다이세트의 기구학적 해석, 대한기계학회 논문집 투고.