

CONFORM공정에서의 결함생성에 관한 연구

A Study on the Defect Formation in Conform Process

김영호, 조진래 (부산대 기계기술연구소), 김강수(한국원자력 연구소), 관인섭(부산대 대학원)
Young-Ho Kim, Jin-Rae Cho(RIMT, Pusan National Univ),
Kang-Soo Kim(KAERI), In-Sup Kwak(Graduate School, Pusan National Univ)

ABSTRACT

In this study, the effect of both process parameters(wheel velocity, friction coefficients between die and billet, etc.) and die-shape (abutment height and shape, flash gap, etc.) on the surface defect on forming process is theoretically investigated. For this work, computer simulation was performed by using the DEFORM, a commercial FEM code. Through numerous simulations with different parameters and die shapes, We propose one optimal die shape for CONFORM process which can remove surface defect.

Key words : Continuous Extrusion Forming(연속압출가공), abutment height and shape(받침대 높이 및 형상), flash gap(플래시 간격), Optimum Die(최적 금형), surface defect(표면결함)

1. 서론

CONFORM(컨폼)은 실린더 형상의 구동 휠의 3면과 재료사이의 마찰력을 이용한 연속적인 압출법으로서 생산비의 절감, 예열시설의 불필요, 생산율의 증가등 여러 가지 장점을 제공해 준다⁽¹⁾⁽²⁾.

이 공정법에 대한 연구동향을 보면 T. Reinikainen⁽¹⁾ 등은 단순화를 통해 평면변형등의 가정으로 열간가공으로서의 시뮬레이션을 통하여 다이 영역에서 가장 강한 소성변형이 일어남을 관찰하였고 또한 다이부분으로의 유동이 비대칭임을 밝혔다. S. Baoyun⁽³⁾ 등은 압출공정을 세단계로 나누어 각각의 단계에 다른 이론을 적용시켜 압출압력과 구동토크를 이론적으로 해석한 뒤 실험을 통해 증명하였다. Peng^(4,5) 등 다수는 모델재료로써 납을 사용하여 공정을 시뮬레이션하였고 소성변형의 연구를 위하여 Moire법을 사용하기도 하였다. 또한 FEM을 이용하여 flash gap이 있는 경우에 대하여 folding이 일어나는 다이구멍과 압출 체임버폭사이의 임계치를 규명하였다.⁽⁶⁾

일반적으로 압출은 단조공정과 유사하다. 단조에서는 금속유동이 비대칭이든지 다이모퉁이가 날카롭든지 다이속이 채워지기 어렵게 되면 골(lap)이 생긴다⁽⁷⁾. 따라서 다이설계가 결함생성에 중요한 변수가 된

다. 그러나 연속압출인 컨폼의 경우, 다양한 다이형상에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 즉, 지금까지의 연구는 획일적인 다이형상에 대해서만 이론적으로 접근해 일반성이 부족하다. 예를 들어, T. Reinikainen⁽¹⁾ 등의 다이형상은 받침대 높이가 일정한 경우에 대해서만 소성유동을 해석하여, 받침대의 높이와 형상이 재료유동에 미치는 영향에 대한 의문을 갖게 만들었다. 특히 Peng^(4,5) 등은 홈표면에 생기는 결함을 홈표면 마찰계수 한가지에 대해서만 한정하여 플래시 간격에 따른 압출비의 한계치를 연구하여 다른 변수(받침대의 높이와 형상, 휠의 속도, 홈과 슈의 마찰계수)가 결함에 미치는 영향에 대한 광범위한 연구의 필요성을 남겼다. 이처럼 여러 가지 공정변수가 컨폼에 미치는 영향에 대한 이론적인 해석은 아직까지 미비한 상태다. 특히, 다이형상(받침대 높이 및 형상, 플래시 간격)에 따른 컨폼의 소성유동에 대한 연구는 매우 시급한 실정이다.

저자들중의 일부는 컨폼공정의 동력계산⁽⁸⁾과 함께 플래시가 있는 측방압출과의 비교해석⁽⁹⁾으로 기초적인 선행연구를 행한바 있다. 본 연구에서는 FEM을 사용하여 압출비와 휠의 속도, 마찰계수의 변화와 함께 다이의 형상이 소성유동에 미치는 영향을 해석하고자 한다. 또한 공정변수에 따른 재료유동의 비교를 통하여 성형공정중 발생가능한 표면결함을 예측하며 제거할 수 있는 최적의 다이형상을 제시하고자 한다.

2. 이론해석

본 연구에서는 상용 유한요소 프로그램인 DEFORM을 사용하여 다양한 공정변수(압출비, 휠 속도, 마찰계수)와 다이형상(플래시 간격, 받침대 높이 및 형상)에 따른 연속압출법의 변형영역에서 일어나는 소성 유동을 조사하여 결함을 미리 예측하고 최종적으로 이것을 제거 할 수 있는 최적 다이 형상을 구하고자 한다.

시뮬레이션을 위해서 몇가지의 단순화 가정을 하였다. 컨폼공정을 평면변형인 이차원문제라 가정하고, 또한 공구형상의 단순화를 위해 부수적인 몇가지의 가정을 추가로 한다.

즉, 컨폼장치를 이차원 평면으로 상사하여 컨테이너를 두 개의 부분으로 구성한다. 흠이 있는 휠은 밑으로 움직이는 평판으로, 그리고 슈부분은 고정된 평판으로 상사하였다. 휠로 상사된 평판이 밑으로 움직이는 것은 컨폼의 회전휠에 대응된다. 즉, 컨테이너의 움직이는 휠 면은 고정된 나머지면들에 상대적으로 움직인다. 컨테이너의 휠을 움직이면 평판의 옆 부분에 설치된 다이로 빌렛이 변형되면서 압출 될 만한 마찰력이 컨테이너사이에 발생한다.

단순화 가정에 따른 컨폼장치의 형태를 Fig.1에 묘사하였다.

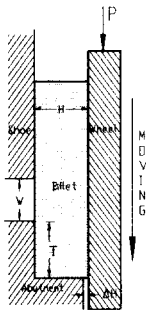


Fig. 1 The simplified simulation numerical model for CONFORM process

시뮬레이션에 사용된 데이터를 Table.1에 기록하였다. 소재는 알루미늄(Al 1100)을 사용하고 재료와 휠 사이의 마찰계수 m_2 는 0.65 이상으로 선정했다. 재료와 슈, 다이의 마찰계수 m_1 은 각각 0.3으로 선정하였다. 휠과 재료사이의 높은 마찰계수는 변형영역으로 재료를 끌어 들이기 위해서는 필수적인 것이다.

Table.1 Simulation condition for extrusion process (unit: mm).

| | |
|---|----------------------------------|
| Billet size | 12 × 12 × 250 [mm ³] |
| Material | Al 1100 |
| Extrusion ratio (W/H) | 1.833, 2, 2.167, 2.333, 2.5 |
| Wheel velocity (V) | 50, 75, 100, 150 [mm/s] |
| Wheel stroke | 50[mm] |
| Friction coefficient (m_1) between shoe & material | 0.3 |
| Friction coefficient (m_2) between wheel & material | 0.65, 0.75, 0.85, 0.95 |
| Flash gap (ΔH) | 0.5, 1, 1.5, [mm] |
| Abutment height (T) | 6, 12, 18, 24 [mm] |

컨폼공정은 높은 온도에서 제품이 형성되는 열간성형압출공정이므로, 공정에서 발생하는 변형에너지의 약 90%가 열로 전환된다. Table. 2 는 열간압출시물레이션을 위해 필요한 열적계수를 문헌을 통해 선정한 것을 나타낸다.

Table. 2 Thermal data in the CONFORM simulation.

| | Al 1100 | Steel | Unit |
|-------------------------------------|---------|-------|------------------------|
| Thermal conductivity | 238 | 32 | N/sec/ °C |
| Heat capacity | 2.305 | 3.588 | N/mm ² / °C |
| Interface heat transfer coefficient | 30 | | N/sec/mm/ °C |
| Initial temperature | 20 | | °C |

컨폼압출에서 제품 중심축 근처의 받침대 영역에서의 변형은 평면변형에 가깝다. 하지만 재료가 다이 영역으로 들어갔을 때 변형은 3차원문제이다. Fig. 2 는 컨폼의 FEM 시뮬레이션에 있어서 관심이 되는 소성거동 부분을 관찰하기 위해서 선정한 초기 유한요소 치수형태이다. 여기서 압출비(W/H)는 2.5, 플래시 간격은 1mm, 받침대 높이는 18mm로 선정되었다.

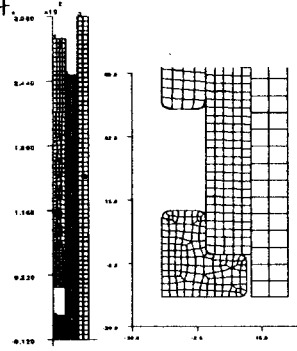


Fig. 2 Initial finite element mesh for the simulation for the simplified CONFORM.

(W/H=1 , ΔH =1, T=1)

3. 결과 및 고찰

3.1 공정변수에 따른 검토

Fig. 3은 컨폼공정에서 받침대 높이가 표면결함 생성에 미치는 영향을 보여준다. 그림에서와 같이 전체적인 경향은 받침대 높이가 낮아 질수록 큰 압출비에서 결함이 생성됨을 보여준다. 빌렛의 폭에 대한 받침대 높이의 비가 0.5에서 1.5사이인 경우는 거의 일정한 압출비에서 접합이 발생한다고 볼수 있다.

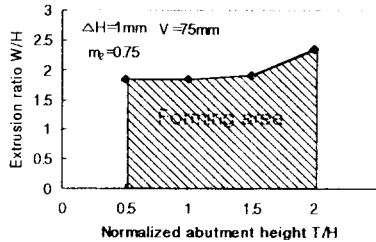


Fig. 3 Effect of abutment height on defect formation

Fig. 4는 빌렛의 폭에 대한 받침대 높이의 비가 1.5인 경우 결함생성이 진행되는 과정을 보여준다.

(a)는 휠에서 빌렛이 최초로 떨어지는 것을 보여주고, (b)에서는 결함이 심화된 상태를 그리고 (c)에서는 완전한 접합이 이루어짐을 보여준다.

일반적으로 컨폼에서는 다이쪽으로의 압출과 동시에 플래시가 생성되는 데 결함이 생길 경우는 Fig.4의 (c)와 같이 플래시쪽으로의 재료유동이 거의 이루어지지 않아 결함이 심화된다. 또한 이것은 플래시쪽으로 재료를 쉽게 유동시키면 어느 정도 결함생성을 방지할 수 있다.

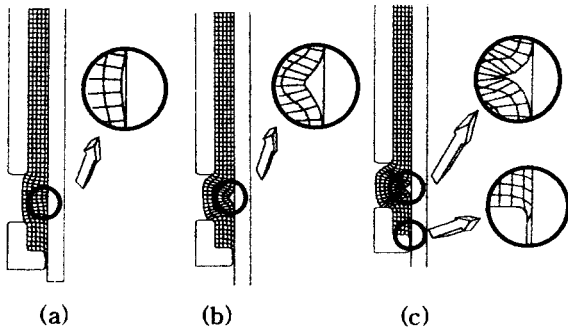


Fig. 4 Defect progress in CONFORM process

Fig. 5는 플래시 간격이 1mm인 경우, 컨폼공정에서

구동 휠속도가 표면결함에 미치는 영향을 보여준다. Fig. 5처럼 구동 휠속도는 결함 생성에 그다지 큰 영향이 미치지 않음을 알 수 있다.

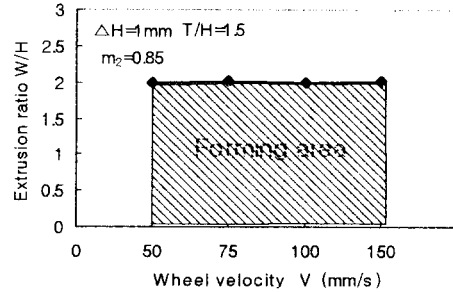


Fig. 5 Effect of extrusion speed on defect formation

Fig. 6은 플래시 간격이 1mm인 경우, 컨폼공정에서 마찰계수가 표면결함에 미치는 영향을 보여준다. Fig. 6은 구동 휠과 재료의 마찰계수(m_2)가 작을수록 표면결함이 생성되기 쉽다는 것을 보여준다. m_2 가 0.65에서 0.85사이인 경우는 비슷한 압출비에서 표면결함이 생성되지만 0.85이상 이 되면 표면결함 생성이 0.85이하인 경우보다 어려워진다.

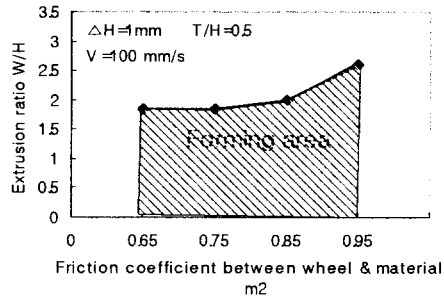


Fig. 6 Effect of friction coefficient on defect formation

3.2 다이 형상 수정에 따른 결함의 제거

일반적으로 금속유동이 비대칭이든지 다이모퉁이가 날카롭든지 다이속이 채워지기 어렵게 되면 골(lap)이 생긴다. 이것은 다이 모서리의 윤곽이 재료유동에 중요한 영향을 미친다는 것을 의미한다.

따라서 결함(접합)발생시 다이 입구부분에 재료유동이 쉽도록 기하학적인 수정을 가하면 어느 정도의 성형한계를 극복할 수 있다. Fig. 7은 결함을 제거하기 위해 다이 입구부분에 경사를 준 컨폼압출장치를 보여준다.

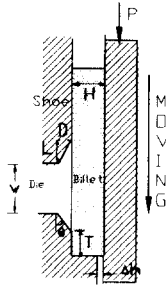


Fig. 7. Proposed die shape for removing surface defect formation

Fig. 8는 다이에 경사각을 주어 Fig. 3에서의 결합 발생 한계이상의 경우, 즉 압출비가 2인 경우에 표면결함이 제거된 예를 보여준다. (a)에서는 Fig.4처럼 처음으로 빌렛이 휠에서 떨어지는 것을 보여주고, (b)는 결합이 진행됨을 그러나 (c)에서는 다이 경사각의 영향으로 결합이 제거됨을 보여준다.

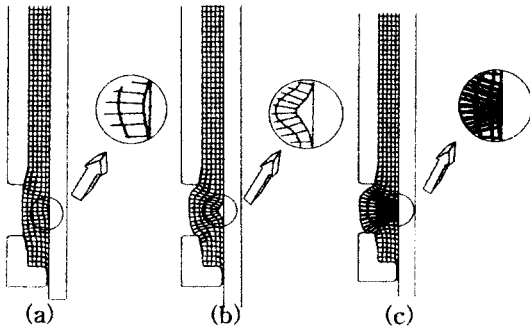


Fig. 8 Example of defect free with change of die shape.

4. 결론

압출공정변수에 따른 컨폼공정을 다이형상에 따른 다양한 변수(압출비, 마찰계수, 휠속도, 플래시 간격, 받침대 높이)를 통해 비교검토한결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 컨폼에서 받침대 높이 (T)가 낮을 수록 같은 압출비에서 결합 생성이 보다 쉽게 이루어짐을 확인하였다.
2. 컨폼에서 압출비가 작은 경우, 휠속도는 결합생성에 그다지 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다.
3. 컨폼에서 압출비가 작은 경우, 구동 휠과 재료사이의 마찰계수(m_2)가 작을 수록 표면결함이 생성되기 쉽다.

4. 컨폼에서 발생하는 결합은 재료가 압출되는 다이부분을 경사지게 함으로써 제거할 수 있다.

후기

※ 본 연구의 일부는 97 교육부 기계공학분야 학술연구 조성비(ME97-E-14) 지원하에 의한 것으로 관계자분께 감사드립니다.

참고문헌

1. T. Reinikainen, A. S. Korhonen (1), K.Andersson, S. Kivivuori, "Computer-Aided Modelling of a New Copper Extrusion Process", Helsinki University of Technology, January 15, 1993.
2. S. Harper, "Special Extrusion Processes for Non-Ferrous Metals", The Metallurgist and Materials Technologist, pp. 257-260, May 1980.
3. S. Baoyun, Z. Daliang, Li Mingdian, "Analysis and Calculation of Deformation Pressure for The Conform Process of Metallic Particle Materials", Advanced Technology of Plasticity-Proc. of the 4th International conference on Technology of Plasticity. 1993.
4. D. S. Peng., B. Q. Yao. and T. Y. Zuo., "The Experimental Simulation of Deformation Behavior of Metals in the CONFORM Process", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.31 pp85-92. 1992.
5. Peng Yinghong, Zuo Tiejoung, Peng Dashu., "Simulation of The Conform Process; Numerical and Experimental Methods", Advanced Technology of Plasticity -Proc. of the Fourth International Conference on Technology of Plasticity, 1993.
6. Peng Yinghong, Xueyu Ruan and Tiejoung Zuo, "Defect Prediction during Conform Process by FEM", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.45, pp. 539-543, 1994.
7. 이동녕, 소성가공학, 文運堂, 1991
8. 김강수, 박근배, 김영호, 광인섭, "연속압출의 동력계산에 대한 연구", 한국정밀공학회 추계학술대회는문집, pp.105-109, 1996.
9. 김영호, 김강수, 광인섭, "압출공정변수에 따른 측방압출과 연속압출의 비교해석", 한국정밀공학회 추계학술대회는문집, pp.139-143, 1996.