[논문] 한국소성가공학회지, 제 16 권 제 7 호, 2007
Transactions of Materials Processing, Vol.16, No.7, 2007

알루미늄 합금을 이용한 후방압출에 의한 캔 성형시 성형 조건이 표면확장과 접촉 압력에 미치는 영향

민경호[1] · 서정민[1] · 구훈서[1] · 비스라[1] · 탁상현[1] · 이인철[1] · 황병복[#]

Influences of Process Conditions on the Surface Expansion and Contact Pressure in Backward Can Extrusion of Al Alloys

K. H. Min, J. M. Seo, H. S. Koo, R. J. Vishara, S. H. Tak, I. C. Lee, B. B. Hwang

(Received June 20, 2007)

Abstract

This paper is concerned with the analysis on the surface expansion of AA 2024 and AA 1100 aluminum alloys in backward extrusion process. Due to heavy surface expansion appeared usually in the backward can extrusion process, the tribological conditions along the interface between the material and the punch land are very severe. In the present study, the surface expansion is analyzed especially under various process conditions. The main goal of this study is to investigate the influence of degree of reduction in height, geometries of punch nose, friction and hardening characteristics of different aluminum alloys on the material flow and thus on the surface expansion on the working material. Two different materials are selected for investigation as model materials and they are AA 2024 and AA 1100 aluminum alloys. The geometrical parameters employed in analysis include punch corner radius and punch nose angle. The geometry of punch follows basically the recommendation of ICFG and some variations of punch geometry are adopted to obtain quantitative information on the effect of geometrical parameters on material flow. Extensive simulation has been conducted by applying the rigid-plastic finite element method to the backward can extrusion process under different geometrical, material, and interface conditions. The simulation results are summarized in terms of surface expansion at different reduction in height, deformation patterns including pressure distributions along the interface between workpiece and punch, comparison of surface expansion between two model materials, geometrical and interfacial parametric effects on surface expansion, and load-stroke relationships.

Key Words : AA 2024 and AA 1100 Aluminum Alloys, Surface Expansion, ICFG Recommendation, Punch Nose Angle

1. 서 론

냉간 압출은 공정 중에 발생하는 두 가지의 매우 가혹한 성형조건으로 인하여 냉간 단조공정 중에서도 가장 어려운 것으로 알려져 왔다. 첫 번째 어려운 점은 공구와 소재 사이의 접촉압력이 매우 높아서 강재를 냉간 압출 할 경우 최대 접촉압력은 약 300,000psi 에 까지 높다는 점이다. 두 번째 문제는 소재의 특정 부분 표면에서의 극심한 변형으로 인하여 국부적으로 재료 표면의 면적이 초기 상태와 비교하여 10 배 또는 20 배까지 늘어 난다는 점이다. 이렇게 소재의 표면이 증가하게 되면 소재와 공구 사이의 윤활막도 거의 같은 비율로 넓어 지면서 또한 얇아지게 되는 것이다.

1. 인하대학교 대학원 기계공학과
교신저자 : 인하대학교 기계공학부
E-mail: bbhwang@inha.ac.kr

윤활막이 어느 정도 이상으로 얇아지게 되면 소재와 공구 사이의 분리막 역할을 함으로서 공작물 및 공구를 보호할 목적으로 사용되는 윤활제의 막 두께가 너무 얇아져 역할을 할 수가 없다. 만약 냉간 단조공정 중 소재의 표면 특정 부분에서 접촉압력과 표면확장이 매우 크면, 공작물 및 공구를 보호하기 위하여 소재와 공구 사이의 분리 성능과 융착 방지 특성이 매우 좋은 윤활제를 선택해서 사용해야 할 것이다. 이와 같은 상황에서 공작물과 공구를 보호하기 위하여 보통은 화학적 처리를 한 아연 인산염(chemically applied zinc phosphate) 코팅과 반응성 아연 스테아르산염(reactive zinc stearate) 막을 동시에 적용하는 것이 일반화되어 있다. 공구의 형상적 특징이 윤활막의 두께 및 소재의 표면유동(surface metal flow)을 매우 효과적으로 조절할 수 있다는 점을 인식한다면 매우 큰 접촉압력에서도 금속 간 직접적인 접촉을 방지시키는 적절한 분리막을 유지하면서 매우 큰 단면 감소율의 가공도 가능할 것이다. 윤활막이 파열되었을 시 예측되는 손해는 단순히 어느 한 제품에 긁힘자국(scratch)이 발생하는 정도가 아니라 금형이 손상되면서 생산 공정 전체가 멈추는 결과를 초래한다[1].

냉간 압출 중에서도 후방압출에 의한 캔의 성형공정은 캔의 내부 벽면을 따라 매우 큰 표면확장이 발생하면서 펀치면(punch face)과 접한 부분의 소재 사이의 윤활 상태가 극도로 열악해지기 때문에 냉간 단조공정 중에서도 가장 어려운 것으로 알려져 있다. 매우 높은 접촉압력과 더불어 표면확장에 의한 열악한 윤활상태로 인하여 종종 윤활막이 파열되면서 공작물이 금형 또는 펀치에 융착되어 공작물에 손상을 준다. 비교적 낮은 단면감소율을 갖는 캔 압출공정에서도 국부적으로 매우 높은 표면확장이 발생되기 때문에 공작물이 손상을 입는 경우가 종종 있다[2].

ICFG(International Cold Forging Group)에서는 캔 압출 공정을 성공적으로 수행하기 위하여 금형설계에 대한 여러 가지 지침을 만들어 권장하고 있다[3]. 하지만, 이러한 금형설계에 대한 지침들은 낮은 단면 감소율을 갖는 캔의 후방압출공정에는 성공적으로 적용될 수 없다. 왜냐하면 낮은 단면 감소율의 캔 후방압출공정에서는 표면확장으로 인한 것으로 의심되는 윤활막 파열에 의하여 공작물이 손상되는 경우가 종종 있기 때문이다[4]. 표면확장과 관련하여 Danno 등은[5] 단면감소율이 큰 경우에 캔의 내부 벽면의 국부적인 표면확장과 윤활막 두께 사이의 관계를 규명하기 위한 연구를 해서 둘 사이의 관계를 규명하였다. Mizuno 등은[6~7] 비교적 높은 단면감소율을 갖는 공정에서 단면감소율과 펀치노우즈의 형상이 국부적인 표면확장에 미치는 영향을 규명하기 위한 연구를 했다.

본 논문에서 해석은 크게 세 가지로 부분으로 나뉘어 수행되었는데, 첫 번째로 펀치의 형상적 특징이 소재의 표면확장과 접촉압력에 미치는 영향을 알아보기 위하여 여러 가지 다양한 펀치코너곡률, 펀치노우즈직경, 펀치노우즈각 등을 모의실험에 적용하였다. 두 번째로, 재료의 가공경화 특성이 표면확장과 접촉압력에 미치는 영향을 분석하기 위하여 가공경화 특성이 강한 재료와 약한재료, 즉 AA1100과 AA2024 알루미늄 합금을 모델 재료로 선택하여 모의실험을 수행하였다. 마지막으로, 소성가공 공정에서 가장 중요한 공정 변수의 하나인 윤활상태의 영향을 알아보기 위하여 두 가지의 마찰 조건을 모의실험에 적용하여 이들 변수가 표면확장 등에 미치는 영향을 알아 보았다. 모의실험에 사용된 펀치의 기본 형상은 ICFG에서 후방 압출 시 추천하는 펀치의 기본 형상을 적용하였다[3]. 본 논문의 모든 모의실험에서 단면감소율은 51%를 적용하였다.

2. 유한요소해석 및 공정조건

2.1 표면확장

본 논문에서 표면확장(surface expansion)은 표면적의 변화량을 원래의 표면적으로 나누어준 수치를 말한다. 예를 들어 (i)번째 절점(node)의 표면확장은 절점을 포함하는 인접한 경계요소(boundary element)의 변형 전후의 표면적의 변화를 측정한 후 두 요소의 표면확장의 평균을 (i)번째 절점의 표면확장으로 정의한다.

Fig. 1 은 변형 전 후의 표면적의 변화를 도식적으로 보여준다. 대부분의 압출공정이 축대칭 형상의 재료를 대상으로 하기 때문에 본 논문에서도 일반적인 축대칭 형상의 표면확장에 대하여 서술하였다. 식(1)에서 (4)까지 (i) 번째 절점의 표면확장이 계산되는 과정을 식으로 나열하였다.

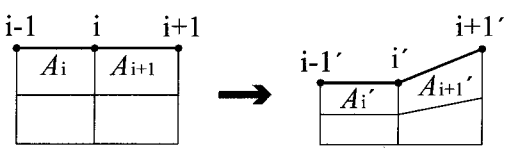

Fig. 1 Surface area before and after deformation

$$SE_{Ai} = \frac{A_i' - A_i}{A_i} \quad (1)$$

$$A_i = (x_i + x_{i-1})\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} \quad (2)$$

$$A_i' = (x_i' + x_{i-1})\sqrt{(x_i' - x_{i-1}')^2 + (y_i' - y_{i-1}')^2} \quad (3)$$

$$SE_i = \frac{1}{2}(SE_{Ai} + SE_{Ai+1}) \quad (4)$$

2.2 해석조건

본 논문에서는 후방압출에 의한 캔의 성형공정에 대하여 강소성 유한요소법을 이용한 모의실험을 수행하였다. 모의실험의 결과는 주로 펀치와 공작물의 접촉면을 따라 발생하는 표면확장과 접촉압력에 대하여 분석하였다. 해석에는 강소성 유한요소법에[8] 기반을 둔 상업적 응용 프로그램인 Deform 2-D^{TM}[9]를 사용하였다.

Fig. 2 에 본 연구에서 사용된 펀치와 금형의 형상이 도식적으로 설명되어 있다. 적용된 펀치 형상은 ICFG 에서 원활한 압출공정을 수행하기 위하여 제시한 펀치직경에 대한 펀치노우즈곡률의 산출방식을 이용하여 펀치의 형상 및 제원을 결정하였다[10]. Fig. 3 에 본 모의 실험에 적용된 펀치의 제원이 설명되어 있다.

Table 1 에는 모든 모의실험에 적용된 공정변수들이 정리되어 있다. Table 에 나타난 바와 같이 초기 빌렛의 높이와 직경은 각각 20 과 28mm 이고, 펀치의 직경은 모든 경우에 20mm 로 동일하게 적용하였다. 또한 빼기 여유각(relief angle)도 모든 경우에 5° 로 일정하게 적용하였다. 마찰조건이 표면확장에 미치는 영향을 알아보기 위하여 두 가지의 마찰 조건을 설정하여 모의실험에 적용하였다. 펀치의 행정거리는 모든 경우에 15mm 로 동일하게 적용되었다. 본 논문에서 가장 핵심적인 분석내용은 여러 가지 펀치노우즈각(punch nose angle), 펀치코너곡률(punch corner radius) 및 펀치노우즈직경(punch nose diameter) 등을 모의실험에 적용함으로써 이들 변수가 소재의 표면확장에 어떤 영향을 미치는가를 정량적으로 알아보고자 하였다.

모의실험에는 두 가지의 알루미늄 합금이 사용되었다. 하나는 AA 1100 알루미늄 합금으로 가공경화 특성이 비교적 우수한 재료이고, 또 하나는 AA 2024 알루미늄 합금으로 AA 1100 에 비하여 가공경화 특성이 비교적 약한 재료이다[11]. 이렇게 가공경화 특성이 상이한 두 재료를 선택하여 모의실험을 수행함으로써 재료의 특성이 표면확장에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

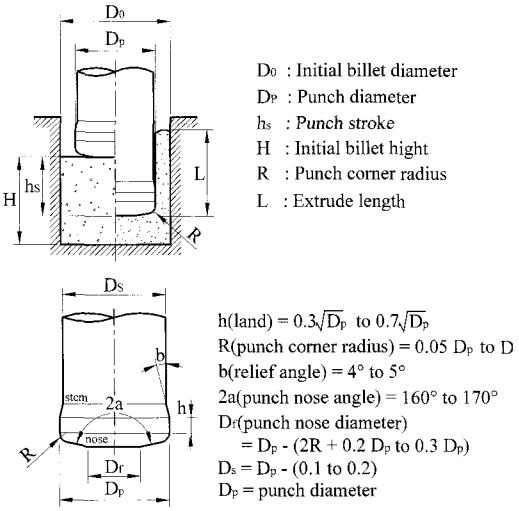

Fig. 2 Die and punch geometry used in analysis

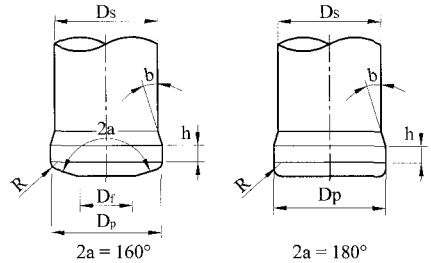

Fig. 3 Punch geometry used in simulation

Table 1 Parameters used in simulation

Parameters	Values
Initial billet height (H)	20 mm
Billet diameter (D_0)	28 mm
Punch diameter (D_p)	20 mm
Punch stroke (h_{st})	15 mm
Land length (h)	2.24 mm
Punch nose angle (2a)	135°, 150°, 165°
Punch corner radius (R)	1.0, 1.5, 2.0 mm
Punch nose diameter (D_f)	6, 8 , 10 mm
Friction factor (m)	0.1, 0.2
Reduction in area	0.510

$$\bar{\sigma} = 173.63\bar{\varepsilon}^{0.304} \ (MPa) \quad \text{for AA1100} \quad (5)$$

$$\bar{\sigma} = 386.55\bar{\varepsilon}^{0.154} \ (MPa) \quad \text{for AA2024} \quad (6)$$

3. 해석 결과

3.1 펀치노우즈각(punch nose angle)

Fig. 4 는 AA1100 알루미늄 합금을 사용하여 여러 가지 펀치노우즈각에 대한 캔의 성형형태, 펀치면에 작용하는 압력 및 표면확장을 보여준다. 모의실험에 적용된 3 가지 경우의 펀치노우즈각은 2a=135°, 150°, 165°이다. 순수하게 펀치노우즈각의 영향을 알아보기 위하여 다른 모든 공정변수들은 동일한 값을 적용하였다. 따라서, 펀치코너곡률(R) 및 펀치노우즈직경(D_f)은 모든 펀치노우즈각에 대하여 각각 R=1.5mm 와 D_f=8mm 로 동일하게 적용하였다.

Fig. 4 에서 알 수 있듯이 펀치노우즈각이 작을수록 최대 표면확장이 약간 큰 경향을 보이기는 하지만 그 차이는 크지 않다. 따라서, 펀치노우즈각이 최대 표면확장에 미치는 영향은 미미한 것으로 보인다. 하지만, 펀치노우즈각이 작을수록 초기빌렛의 위치에서 살펴보았을 때 보다 중심축에 가까운 쪽에서 최대 표면확장을 보인다. 그림에서 볼 수 있듯이 3 가지의 펀치노우즈각을 적용하여 모의실험한 결과 변형형태 및 압력의 분포형태는 대체로 비슷한 것으로 알 수 있다. 최대 압력이 작용하는 지점은 모두 펀치코너 부근으로 동일하게 나타났다. 하지만 펀치노우즈각이 작은 경우 펀치코너 부근에서의 최대압력이 낮은 것을 알 수 있다. 또한, 펀치면의 압력 분포를 살펴볼 때 펀치노우즈각이 작을수록 압력편차가 낮은 경향을 보인다. 최대 표면확장을 보이는 부분에서 최대 압력 및 압력의 분포는 윤활막의 형성 및 파괴에 중요한 역할을 하지만, 본 연구에서는 이 부분에 대한 분석은 생략하고 향후의 연구에서 보다 심도 있게 다루고자 한다.

3.2 펀치코너곡률(punch corner radius)

Fig. 5는 AA1100의 여러 가지 펀치코너곡률에 대한 캔의 성형형태, 펀치면에 작용하는 압력 및 표면확장을 보여준다. 모의실험에 적용된 3가지 경우의 펀치코너곡률(R)은 각각 R=2.0, 1.5, 1.0mm 이다. 이 경우에 펀치노우즈각(2a) 및 펀치노우즈직경(D_f), 마찰조건(m)은 각각 2a=150°, D_f=8mm, m=0.1을 동일하게 적용하였다.

그림에 나타난 바와 같이 펀치코너곡률이 작을수록 국부적으로 발생되는 최대 표면확장이 현저하게 낮아짐을 알 수 있다. 특히 펀치코너곡률이 1.0mm가 적용된 경우 최대 표면확장은 다른 경우와 비교하여 약 30% 가량 낮으면서 표면확장이 상대적으로 비교적 고르게 분포됨을 알 수 있다.

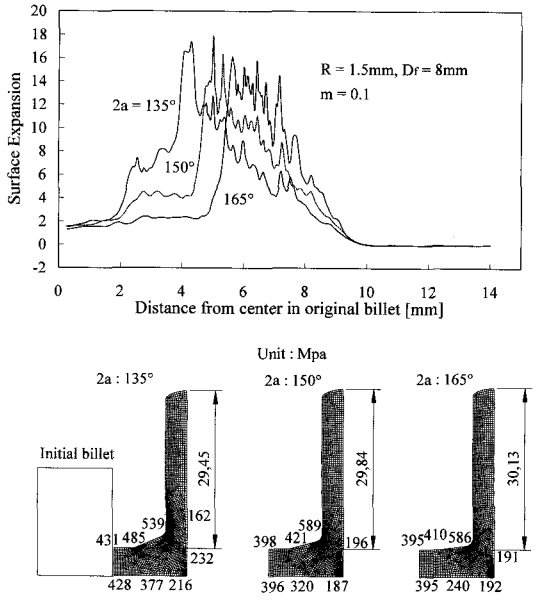

Fig. 4 Deformation patterns and Surface expansion for various punch nose angle

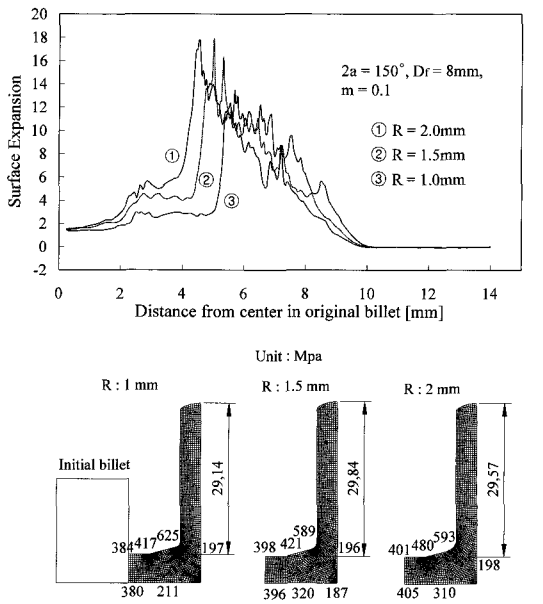

Fig. 5 Deformation patterns and surface expansion for various punch corner radii

펀치에 작용하는 최대압력과 소재의 최대 표면확장이 발생하는 위치가 펀치코너 부근임을 알 수 있다. 이러한 이유로 펀치의 손상 및 소재의 결함이 발생되는 위치가 펀치의 코너 부근에서 자주 발생되는 것으로 보인다. 펀치면에 작용하는 최대 압력 및 압력의 분포는 세가지 경우 모두 비슷하게 나타났으며 의미 있는 차이점이 보이지는 않는다.

3.3 펀치노우즈직경(punch nose diameter)

Fig. 6는 AA1100의 여러 가지 펀치노우즈직경(D_f)에 대한 캔의 성형형태, 펀치면에 작용하는 압력 및 표면확장을 보여준다. 모의실험에 적용된 3가지 경우의 펀치노우즈직경(D_f)은 각각 D_f=6, 8, 10mm 이다. 이 경우에 펀치노우즈각(2a) 및 펀치코너곡률(R), 마찰조건(m)은 각각 2a= 150°, R=1.5mm, m=0.1을 동일하게 적용하였다. 그림에서 펀치노우즈직경이 작을수록 국부적인 최대 표면확장이 낮아지며 빌렛의 중심부에 가까운 쪽으로 중심부에 가까운 쪽으로 표면확장이 더 넓게 분포하는 것을 알 수 있다. 전체적인 경향은 펀치노우즈직경이 작을수록 국부적인 표면확장은 작아지면서 소재의 표면에 보다 더 고르게 표면이 확장하려는 경향을 보인다. 따라서, 윤활 등의 공정조건들을 고려할 때 펀치노우즈직경이 작은 것이 바람직하다 볼 수 있다. 또한 펀치의 작용압력을 살펴 보면, 그림 3과 4에서와 마찬가지로 서로 비슷한 분포를 보인다. 최대압력 및 최소 압력도 서로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

3.4 마찰조건(frictional condition)

Fig. 7 은 AA1100 소재를 펀치노우즈각(2a) 및 펀치노우즈직경(D_f), 펀치코너곡률(R)이 각각 2a= 150°, D_f =6mm, R=1.5mm 에 대하여 서로 다른 마찰조건에, 즉 m=0.1 과 0.2, 따른 표면확장과 압력분포를 보여주고 있다.

그림에서 쉽게 볼 수 있듯이 최대 표면확장은 서로 다른 마찰조건에 따른 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 하지만 윤활상태가 좋은 경우, 즉 m=0.1 인 경우, 최대 표면확장을 보이는 위치가 중심부 쪽으로 약간 이동하는 것을 볼 수 있다.

전체적인 표면확장 경향은 서로 비슷하나 좋은 윤활상태에서 빌렛의 중심부의 표면확장이 약간 높은 것으로 보여진다. 펀치면에 작용하는 압력의 분포는 다른 경우와 매우 흡사한 경향을 보이나 마찰인자 값을 0.2를 적용하였을 때, 즉 윤활상태가 상대적으로 좋지 않을 경우, 전반적으로 접촉압력이 높게 나타났다. 서로 다른 윤활상태에 따

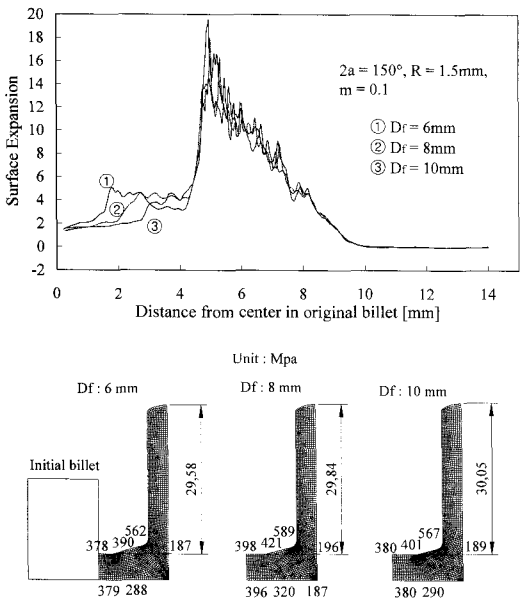

Fig. 6 Deformation patterns and surface expansion for various punch nose diameters

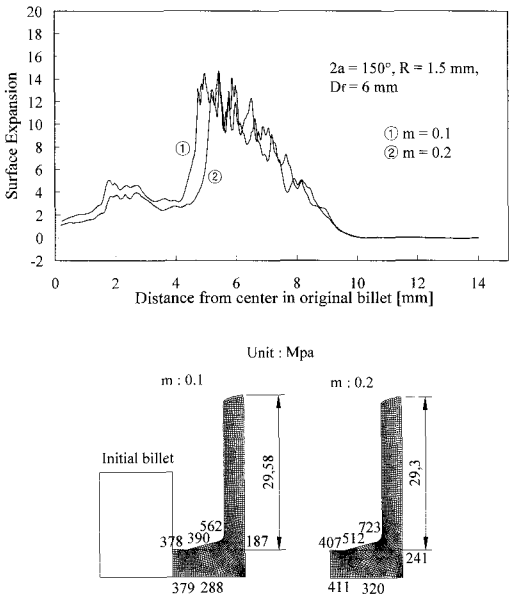

Fig. 7 Deformation patterns and surface expansion for different friction factors

른 표면확장의 분포 자체는 그리 큰 차이가 없으나 상대적으로 마찰조건이 보다 가혹한 상태에서 접촉압력이 높기 때문에 윤활막의 파괴 등으로 인하여 소재 및 금형에 손상이 올 가능성이 높다. 표면확장의 분석을 통하여 재료의 윤활상태 및 공정 중 손상 가능성 등을 예측하기 위하여는 금형과의 접촉압력도 동시에 분석하여야 만 보다 정확한 분석이 가능할 것으로 판단된다.

3.5 성형하중(forming load)

Fig. 7은 AA1100 소재의 펀치노우즈각(2a) 및 펀치노우즈직경(D_f)의 변화에 따른 하중-변위 관계를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 전형적인 압출공정의 하중-변위관계를 보여주고 있으나, 펀치노우즈각이 클수록 공정 초기에 하중이 상대적으로 보다 급격히 상승하는 경향을 보여 보다 빠르게 정상상태의 압출공정으로 전환되는 것을 알 수 있다. 또한, 펀치노우즈각이 클수록 정상 상태에서의 펀치하중도 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 정상상태에서 펀치노우즈직경이 성형하중에 미치는 영향은 매우 미미하여 거의 차이점이 보이지 않으나, 다만 펀치노우즈직경이 클수록 비정상상태에서 성형하중이 상대적으로 급격히 상승하여 더 빠르게 정상상태의 압출에 도달하는 것을 볼 수 있다. 전반적으로 펀치노우즈각이 펀치노우즈직경 보다는 성형하중에 주는 영향이 큰 것을 알 수 있다.

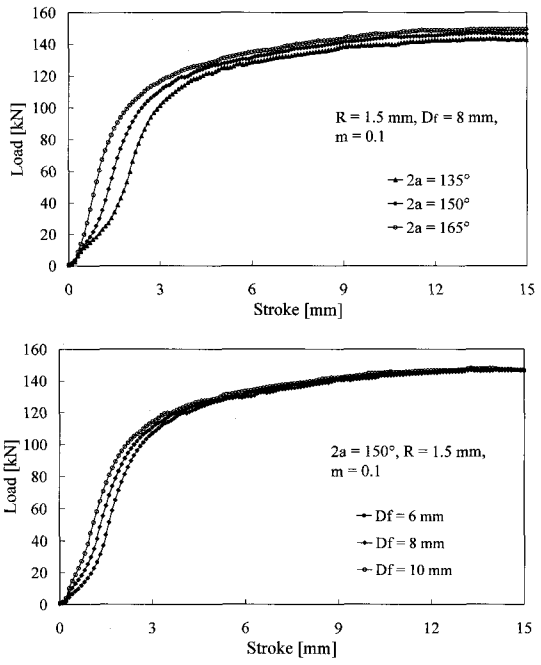

Fig. 8 Load-stroke relationship with varying geometrical conditions

3.6 단계별 분석(sequential analysis)

표면확장에 대한 보다 세밀한 분석을 위하여 행정거리가 3mm 진행될 때 마다 성형형태, 최대접촉압력, 최대접촉압력의 작용위치, 그리고 표면확장을 분석하였다. 또한 최대접촉압력을 소재의 초기상태(original configuration) 및 현재상태(current configuration)로 나누어 다섯 개의 중간 성형단계별로 각각 나타내었다. Fig. 9에 AA1100 소재의 성형단계 별 최대접촉압력 및 작용위치, 표면확장이 나타나 있다. 이해를 돕기 위하여 압출공정 중 펀치와 맞닿는 초기상태에서의 빌렛 표면의 위치와 현재 상태에서의 대응되는 위치를 성형의 마지막 단계에서 나타내 주었다. 그림에서 쉽게 알 수 있듯이 압출 성형공정 중 최대접촉압력이 작용하는 곳은 항상 펀치코너 부분인 것으로 나타났다. 또한, 초기상태의 빌렛에서 관찰하였을 때 최대접촉압력이 작용하는 지점은 압출공정이 진행할수록 점차 중심축 방향으로 이동하는 것이 보인다. 공정의 초기에 최대접촉압력이 작용하는 위치가 정상상태에서 보다 빠르게 중심축 방향으로 이동하는 것도 알 수 있다. 그림에서 특이한 점은 최대접촉압력의 크기는 각각의 공정 단계에서 큰 차이를 보이지 않는 다는 점이다. 오히려 공정의 초기 비정상상태의 압출단계에서 최대접촉압력이 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 그림에서 최대표면확장은 공정이 진행되면서 거의 비례적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한, 압출공정의 진행에 따라 최대 표면확장을 나타내는 위치가 초기 빌렛 기준으로 점차 중심축 방향으로 이동하면서 그 크기도 증가함을 알 수 있다. 그림에서 볼 때 최대 접촉압력과 최대 표면확장을 보이는 위치가 거의 일치함을 알 수 있다. 하지만 보다 세밀히 살펴보면 공정의 초기 단계에서는 최대접촉압력과 최대 표면확장을 보이는 위치가 동일하지만 공정의 후반부, 즉 정상상태에서는 최대접촉압력이 작용하는 위치가 최대 표면확장을 나타내는 위치 보다 약간 중심축 방향으로 치우쳐 있는 것을 알 수 있다. 이러한 점을 고려할 때 공정 중 비교적 정확한 윤활상태의 예측을 위해서

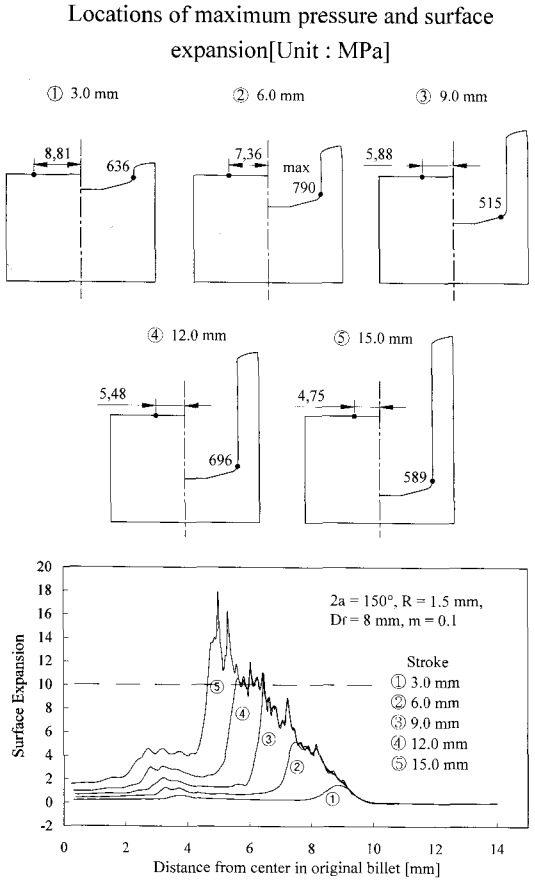

Fig. 9 Deformation patterns and surface expansions at different reductions in height

는 표면확장의 분석뿐 만 아니라 최대 접촉압력의 위치 및 접촉압력의 분포도 주요한 고려 대상이 되어야 할 것으로 판단된다. 이러한 점은 향후 이어지는 연구에서 보다 심도 있게 다룰 것이다.

3.7 가공경화특성(work hardening)

Fig. 10 은 가공경화특성이 서로 다른 AA 1100과 AA2024 알루미늄 합금의 표면 유동형태를 보여준다. 초기에 반경 방향으로 일정한 간격으로 구성된 망(net)이 공정이 진행되면서 일그러지는 형태의 유동망(flow-net)으로 나타나서 어느 위치에서 표면확장이 크게 발생하는지를 보여준다. 두 소재 사이의 비교는 펀치노우즈각(2a)과 펀치노우즈직경(D_f)이 각각 2a=150° 와 D_f= 8mm 로 일정한 상태에서, 펀치코너곡률(R)을 변화시키면서 유동망이 어떻게 변화하는지 살펴보았다. 일반적으로 가공경화특성이 약한 재료, 즉 AA2024 가 소재의 표면에서 반경 방향으로의 유동이 상대적으로 큰 것을 유동망이 일그러진 형태로 알 수 있다. 이러한 점은 가공경화특성이 약한 재료가 펀치와 맞닿은 면에서의 소재의 표면확장이 보다 상대적으로 큰 것을 말해준다. 또한, 그림에서 쉽게 관찰할 수 있듯이 이러한 경향은 펀치코너곡률이 커질수록 심화되는 것을 알 수 있다.

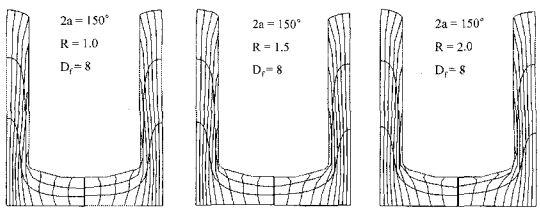

Fig.10 Surface metal flow modes for different materials: AA1100(left) and AA2024(right)

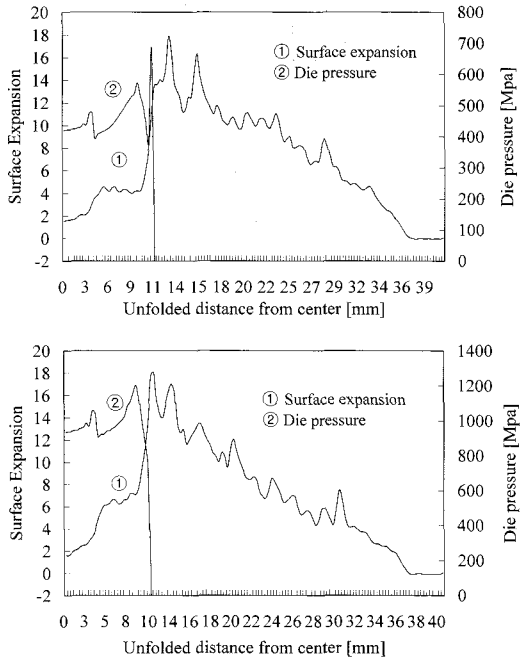

Fig.11 Surface expansion and pressure exerted on the tool for AA 1100(up) and AA 2024(down)

Fig. 11은 AA1100과 AA2024 알루미늄 합금의 표면확장과 펀치에 작용하는 압력을 나타낸다. 그림에서 축 중심으로부터의 거리는 공정이 완료된 후 캔의 내면을 일직선으로 펼친 상태로 나타내었다. 공정이 끝난 후 최대 표면확장 값은 두 재

료가 비슷한 것으로 보이며 표면확장이 최대가 되는 소재 표면의 위치도 두 재료 간에 의미 있는 차이가 보이지 않는다. 하지만, 전술한 바와 같이 AA2024가 소재의 표면에서 반경 방향으로의 유동이 큰 것을 다시 한번 정량적으로 확인할 수 있다. 구체적으로 말하면 반경 방향으로 펀치면의 중간 부분부터 펀치코너 부분 사이의 표면확장이 가공경화특성이 약한 소재, 즉 AA2024 알루미늄 합금이 현저하게 큰 것을 알 수 있다. 최대 접촉압력 및 접촉압력의 분포 또한 두 재료 사이에 의미 있는 차이점을 보이지는 않는다. 결론적으로 소재의 가공경화 특성은 표면확장과 접촉압력분포에는 별다른 영향을 미치지 못하는 것으로 볼 수 있다. 하지만 지금까지의 분석 결과 및 아래의 그림에서 관찰 할 수 있는 또 하나의 중요한 점은 정상상태 압출에서 최대 표면확장을 보이는 위치는 소재가 펀치코너 부분을 빠져 나간 직후라는 점과 최대 접촉압력이 발생되는 위치는 펀치코너 부근이라는 점이다. 이것은 펀치코너 부분을 소재가 통과하면서 최대의 접촉압력 상태에서 표면이 확장되는 속도, 즉 표면확장속도가 최대가 된다는 의미다. 이러한 점은 펀치코너 부근에서 표면확장이 급격하게 상승하는 것을 보아 쉽게 예측할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 후방압출에 의한 캔의 성형공정에 대하여 강소성 유한요소법을 적용하여 공구의 형상 및 마찰조건 그리고 가공경화 특성 등의 여러 가지 설계변수들이 공작물의 표면특성, 즉 표면확장과 접촉압력에 미치는 영향을 분석하였다.

모의실험 분석의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 펀치노우즈각이 작을수록 최대 표면확장이 약간 큰 경향을 보이기는 하지만 그 차이는 크지 않았으며 펀치노우즈각이 최대 표면확장에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다.

(2) 펀치코너곡률이 작을수록 국부적으로 발생되는 최대 표면확장이 현저하게 낮아짐을 보았으며, 펀치에 작용하는 최대압력과 소재의 최대 표면확장이 발생하는 위치가 펀치코너 부근이었음을 알 수 있었다.

(3)펀치노우즈직경이 작을수록 국부적인 최대 표면확장이 낮아지며 빌렛의 중심부에 가까운 쪽으로 표면확장이 더 넓게 분포하였다.

(4) 최대 표면확장은 서로 다른 마찰조건에 따른 차이가 거의 없었다. 하지만 윤활상태가 비교적 좋은 경우, 즉 m=0.1 인 경우, 최대 표면확장을 나타내는 위치가 중심부 쪽으로 약간 이동하였다.

(5) 펀치노우즈각이 클수록 공정 초기에 하중이 상대적으로 보다 급격히 상승하는 경향을 보여 보다 빠르게 정상상태의 압출공정으로 전환되었다.

(6) 단계별 압출 성형공정 중 최대접촉압력이 작용하는 곳은 항상 펀치코너 부분인 것으로 나타났다.

(7) 가공경화특성이 약한 재료가 소재의 표면에서 반경 방향으로의 유동이 상대적으로 컸으며, 이러한 점은 가공경화특성이 약한 재료가 펀치면과 맞닿은 면에서의 소재의 표면확장이 미미하지만 상대적으로 큰 것을 말해준다. 소재의 가공경화 특성은 표면확장과 접촉압력의 크기와 분포에는 별다른 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다.

후 기

본 논문은 2007 년 인하대학교 교수연구진흥비의 지원에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

[1] American Society for Metals, 1975, Source book on cold forming (ASM, U.S.A.), p. 266.

[2] B. Bennani, N. Bay, 1996, Limits of lubrication in backward can extrusion: analysis by the finite-element method and physical modeling experiments, J. of Malertials Processing Tech. Vol. 61, pp. 275~286.

[3] ICFG, 1983, General recommendations for design, manufacture and operational aspects of cold extrusion tools for steel components(ICFG Doc. No 6/82, Portcullis Press).

[4] N. Bay, S. Lassen, K. B. Pedersen, 1991, Manufact. Tech. CIRP annals Vol. 40 , p. 239.

[5] Danno, K. Abe., F. Nonoyama, 1983, J. Jap. Soc. Tech. of Plasticity Vol. 24, p. 213.

[6] T. Mizuno, Y. Kojima, K. Kitamura, W. Zhu, 1984, J. Jap. Soc. Tech. of Plasticity Vol. 25, p. 929.

[7] T. Mizuno, W. Zhu, Y. Kojima, K. Sugimoto, 1987, J. Jap. Soc. Tech. of Plasticity Vol. 28, p. 1060.

[8] B.B. Hwang, 1999, A process sequence design on the forming process of disk-brake piston, Metals and materials, Vol. 5 No. 1, pp. 85~91.

[9] SFTC, 2004, DEFROM-2D Ver. 8.0 Users Manual (Scientific Forming Technologies Corporation Inc., U.S.A.).

[10] 김성현·이호용, 2005, 중공축을 이용한 전후방 압출의 성형특성, 한국소성학회지, 제 14 권 9 호, pp. 772 ~778.

[11] Air Force Material Laboratory, 1973, Forming equipment, materials and practices(Metal and Ceramics Information Center).