

체적성형공정에서의 새로운 마찰시험법 제안

강성훈^{1#}, 윤여용², 이영선¹

Proposal of Novel Friction Testing Method in Bulk Metal Forming

S. H. Kang, Y. W. Yun and Y. S. Lee

Abstract

With the recent increase in the demand for the net-shape forming, numerical simulations are being commonly adopted to increase the efficiency and effectiveness of design of bulk metal forming processes. Proper consideration of tribological problems at the contact interface between the tool and workpiece is crucial in such simulations. In other words, lubrication and friction play important roles in metal forming by influencing the metal flow, forming load and die wear. In order to quantitatively estimate such friction condition or lubricant characteristic, the constant shear friction model is widely used for bulk deformation analyses. For this, new friction testing method based on the forward or backward extrusion process is proposed to predict the shear friction factor in this work. In this method, the tube-shaped punch pressurizes the workpiece so that the heights at the center and outer of punch (or mandrel) become different according to the friction condition. That is, the height at the center of punch is higher than that at the outer of the punch when the friction condition at the contact interface is severe. From this founding, the proposed friction testing method can be applied to effectively evaluate the friction condition in bulk metal forming processes.

Key Words : Friction Testing Method (마찰시험법), Extrusion Process (압출공정), Shear Friction Factor(전단마찰상수),

1. 서론

단조공정은 소재에 외력을 가하여 소성변형시킴으로써 원하는 형상의 제품을 만드는 공정이다. 최근 복잡한 형상의 제품 성형 및 정형가공의 필요성이 증대되면서 단조공정 시뮬레이터의 정확성을 향상시키기 위한 요구는 더욱 증가하고 있다. 그 중에서도 소재유동, 성형하중, 성형결함 등에 직접적으로 영향을 미치는 마찰조건에 대한 정확한 예측은 해석결과의 정확도를 좌우할 만큼 중요한 인자로 인식되고 있다.

단조공정해석 시 마찰조건을 정량적으로 모사

하기 위해 다음과 같은 일정 전단 마찰 모델 (Constant shear friction model)을 주로 사용되고 있다.

$$\tau = m_f k_s \quad (1)$$

여기에서 τ , m_f , k_s 는 각각 전단마찰력, 전단마찰상수($0 \leq m_f \leq 1$), 소재의 전단항복강도($\sigma/\sqrt{3}$)를 의미한다.

지금까지 단조공정에서의 마찰조건을 정량적으로 평가하기 위한 시험법으로 링 압축 시험, 스파이크 시험, 인젝션 업셋팅 시험, 전후방압출 시험, 후방압출 시험, 팁 시험 등이 제시되었다[1-11]. 대

1. 한국기계연구원 부설 재료연구소 융합공정연구본부

2. 한국기계연구원 부설 재료연구소 산업기술지원본부

교신저자: 한국기계연구원 부설 재료연구소

E-mail: kangsh@kims.re.kr

부분이 소재의 기하학적인 형상으로부터 마찰조건을 정량적으로 예측하는 방법으로, 가장 대표적인 예가 링압축시험이다. 이 시험법은 링 형상의 소재를 가압하여 마찰조건에 따른 링 내경의 변화를 측정하여 전단마찰상수를 구하는 방법이다. 그러나 이 방법은 링 소재의 불균일한 변형에 의한 측정오차뿐만 아니라 표면팽창율이 다소 작아, 표면팽창율이 크고 소재유동이 복잡한 일반적인 단조공정에 적용하기에는 부적합한 것으로 알려져 있다.

또한, 최근에 제안된 팁시험법은 후방압출공정을 적용한 마찰시험법으로, 금형의 직경보다 작은 직경의 소재를 사용하여 후방압출 시 소재의 끝단에 형성되는 팁거리를 측정하여 마찰조건을 정량적으로 측정하는 방법이다. 이 시험법 역시 적용되는 소재의 기하학적 형상의 제한으로 표면팽창율이 작고, 일반적인 후방압출시험과 같이 마찰조건을 정량적으로 측정하기 위해서는 성형하중 및 소재의 유동응력을 정밀하게 측정해야 하는 한계가 있다.

전후방압출공정을 적용한 마찰시험법은 전방 또는 후방으로 압출되는 소재의 높이를 측정하여 전단마찰상수를 측정하는 방법으로, 마찰조건이 나쁠 때 압출되는 소재의 높이의 변화가 크지 않은 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 단점을 보완한 새로운 마찰시험법을 제안하고자 한다. 본 시험법은 전방 또는 후방압출공정을 적용한 시험법으로 튜브형상의 펀치 또는 맨드렐을 사용하는 것을 주 특징으로 하는 시험으로 다음과 같은 장점이 있다.

- 소재종류(또는 유동응력)와 상관없이 전단 마찰상수를 측정할 수 있는 동일한 보정선도 도출: 성형하중과 무관
- 단순히 소재의 높이 변화로부터 마찰조건에 대한 정량적 측정 가능
- 마찰조건과 관계없이 펀치 스트로크에 따라 소재의 압출높이가 대체로 선형적으로 증가
- 전후방압출공정을 이용한 시험법과는 달리 압출높이 변화가 전단마찰상수에 매우 민감

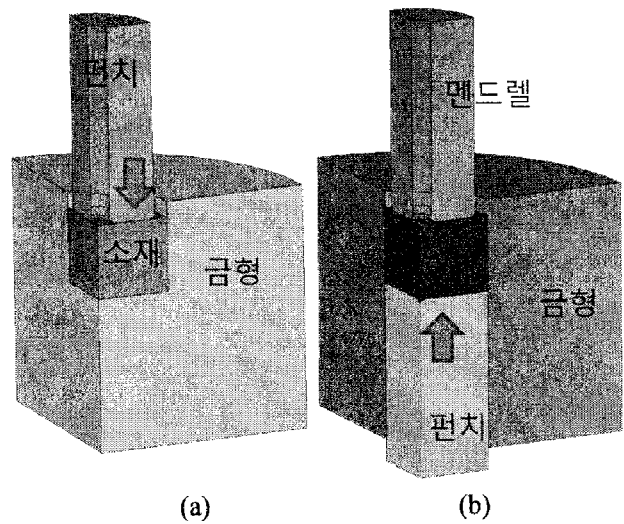


Fig. 1 New friction testing methods based on (a) backward and (b) forward extrusion processes.

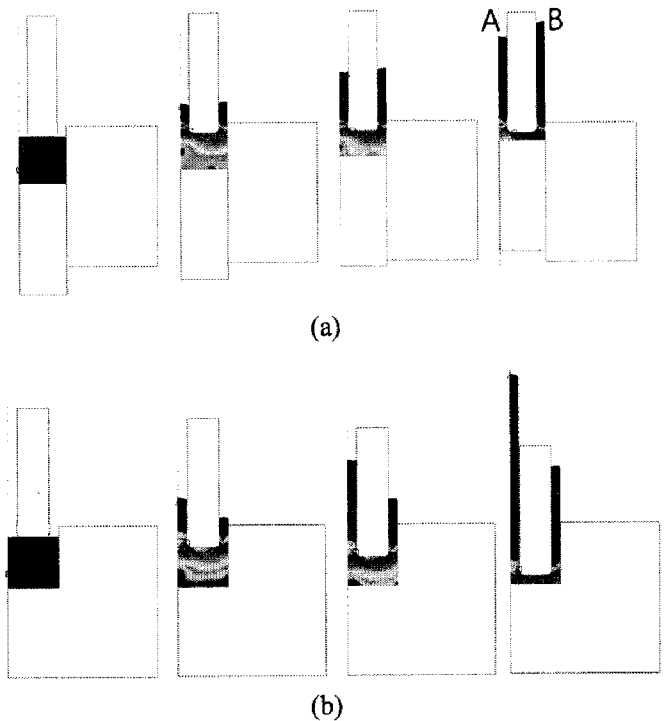


Fig. 2 Flow modes in proposed backward extrusion using tube-shaped punch according to the shear friction factor (m_f) of (a) 0.1 and (b) 0.9.

2. 압출공정을 이용한 마찰시험법

Fig. 1은 본 논문에서 제안하는 전방 또는 후방 압출공정을 적용한 마찰조건 시험법으로 중공형

의 튜브 또는 맨드릴을 사용하는 것을 특징으로 한다. Fig. 2는 Fig. 1의 공정을 적용한 해석결과로, 전단마찰상수가 각각 0.1과 0.9을 적용하였을 때 펀치의 스트로크에 따른 소재의 변형양상을 나타낸 그림이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 전단마찰상수가 0.1인 경우 펀치의 중심부(A)보다 외경부(B)에서 소재의 압출 높이가 크며, 반대로 전단마찰상수가 0.9인 경우 B 지점보다 A 지점에서 소재의 압출높이가 더 크게 나타난다. 이러한 결과는 Fig. 3과 같이 링압축 시험 시 발생하는 소재 유동양상과 비슷한 현상으로, 전단마찰상수가 작을 경우 소재유동이 바깥쪽으로 발생하여 링의 내경은 커지게 되며, 반대로 전단마찰상수가 클 경우 중립면을 기준으로 소재유동이 안쪽방향으로 주도적으로 발생되어 링의 내경이 작아지는 현상과 비슷한 결과로 볼 수 있다.

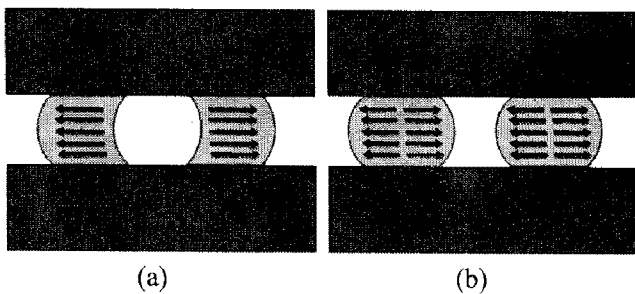
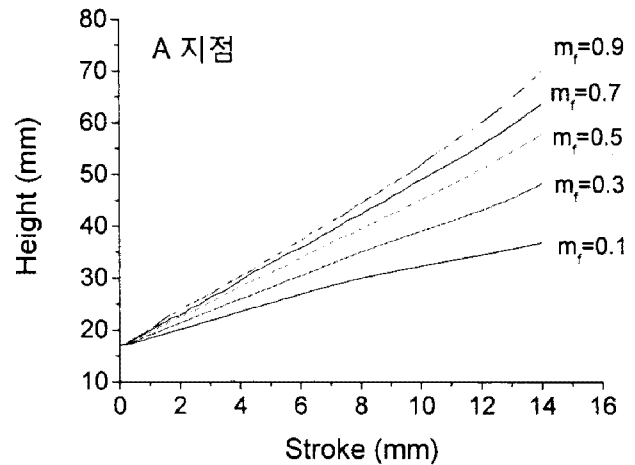


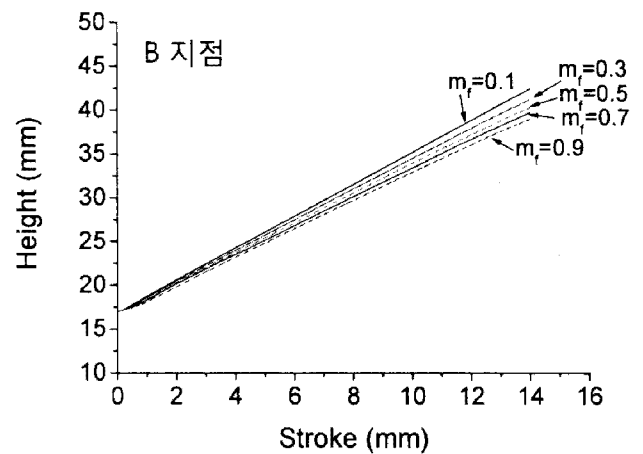
Fig. 3 Flow modes in ring compression when (a) low and (b) high friction conditions are applied.

Fig. 2의 해석결과를 정리하여 Fig. 4에 펀치 스트로크에 따른 A 및 B 지점에서의 높이 변화를 나타내었다. Fig. 4 (a)와 (b)에서 확인할 수 있듯이 펀치 스트로크가 증가함에 따라 A 및 B 지점에서의 압출높이는 대체로 선형적으로 증가한다. 반면 전단마찰상수가 증가할수록 A 지점에서의 압출높이가 증가하나 B 지점에서는 작아지는 경향을 보이고 있다. Fig. 4 (a) 및 (b)로부터 A와 B 지점에서의 압출높이의 상관관계를 보면 전단마찰상수에 관계없이 대체로 선형적인 관계가 있음을 확인할 수 있다. 따라서 실험으로부터 다양한 윤활제에 대하여 압출된 소재의 높이만을 측정함으로써 Fig. 4(c)의 압출높이 선도로부터 전단마찰상수를 정량적으로 쉽게 예측할 수 있다.

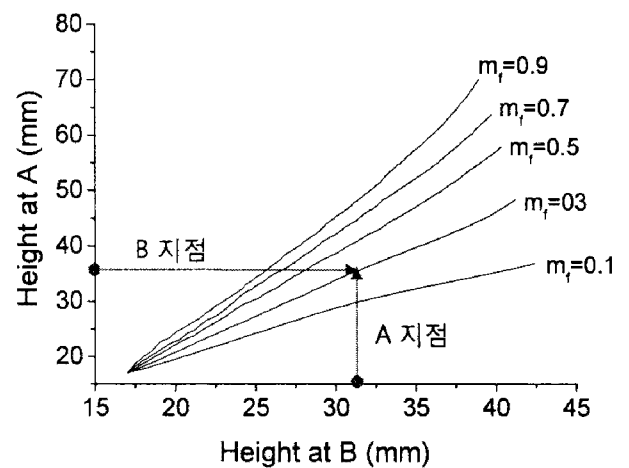
또한, 본 연구에서 제안된 시험법의 주요 장점 중의 하나는 소재종류에 관계없이, 즉 단조공정해



(a)



(b)



(c)

Fig. 4 Extruded heights (a) at A and (b) B according to the punch strokes and shear friction factors and (c) linear relationship between the heights at A and B.

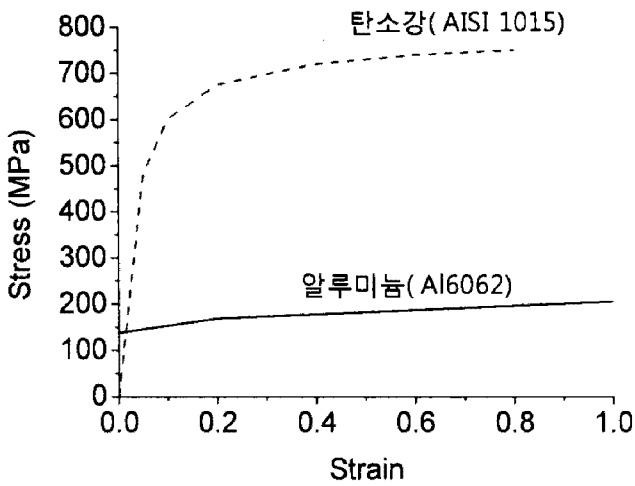


Fig. 5 Flow stresses of AISI 1015 and Al6062.

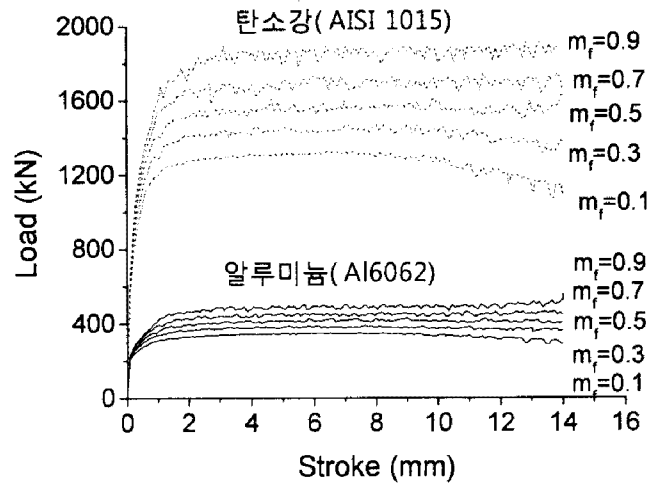
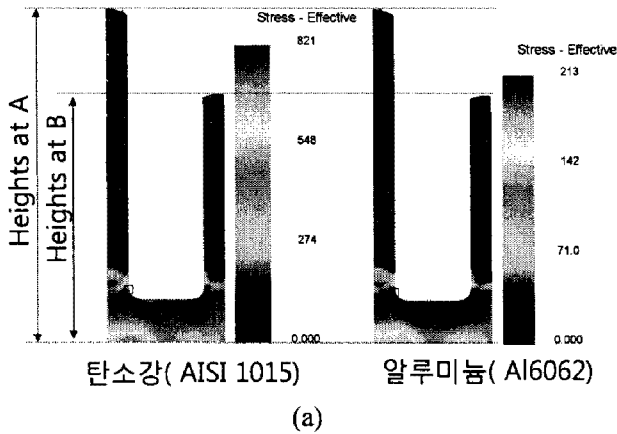
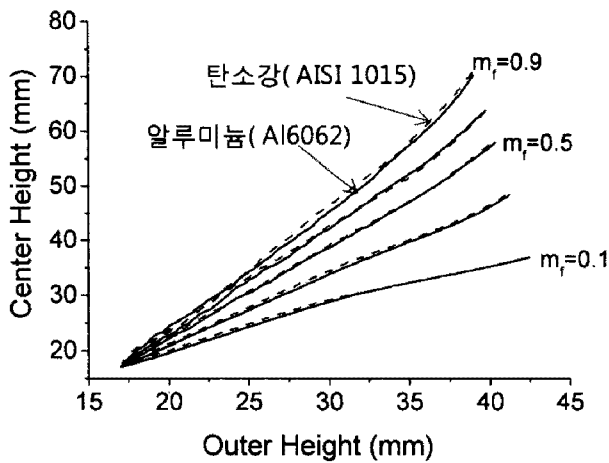


Fig. 7 Load vs. stroke curve predicted from FE simulation using carbon steel AISI 1015 and aluminum alloy Al6062.



(a)



(b)

Fig. 6 (a) Flow modes with $m_f=0.5$ and (b) extruded heights at A and B when carbon steel AISI 1015 and aluminum alloy Al6062 were applied.

석에 필요한 유동응력을 구할 필요없이 임의의 유동응력식을 사용하여도 Fig. 4 (c)의 압출높이가 그대로 유지된다는 것이다. 일례로 Fig. 5의 탄소강 AISI 1015와 알루미늄합금 Al6061의 유동응력식을 적용하여 전단마찰상수 $m_f=0.5$ 일 때의 압출높이의 변화를 Fig. 6에 도시하였다. 그림에서 확인할 수 있듯이 서로 다른 유동응력을 갖는 탄소강 및 알루미늄합금 소재를 적용했음에도 불구하고 A 및 B지점에서의 압출높이가 동일하게 예측되었다. 따라서 본 연구에서 제안된 마찰시험법은 동일한 금형형상이 사용된다면 동일한 Fig. 6의 선도를 도출할 수 있으므로, 유동응력을 구하지 않더라도 다양한 윤활제에 대한 전단마찰상수를 정량적으로 예측할 수 있다.

Fig. 7은 해석결과로부터 도출된 하중선도로, 전단마찰상수에 따라 하중 차이가 발생하고 있다. 따라서 실험에서 하중을 측정하여 Fig. 7의 하중선도에서 전단마찰상수를 예측할 수 있다. 그러나 성형하중으로부터 전단마찰상수를 예측하는 방법은 정확한 해석을 위한 유동응력을 도출해야 하며, 또한 소재가 바뀔 때마다 유동응력을 구해야 하는 번거로움이 있다. 뿐만 아니라 실험에서 하중을 측정하기 위한 로드셀도 필요하다. 따라서 실험의 단순성과 편리성을 고려하면 단순히 소재의 변형양상으로부터 전단마찰상수를 예측하는 방법이 보다 효율적이다.

3. 결 론

본 연구에서는 체적성형공정에서의 윤활제의 특성을 정량적으로 예측하기 위한 새로운 마찰시험법을 제안하였다. 제안된 시험법은 전방 또는 후방압출공정에서 튜브형상의 맨드릴 또는 펀치를 사용하여 압출높이의 변화로부터 전단마찰상수를 쉽게 정량적으로 예측할 수 있다. 또한 적용된 소재종류에 무관하게 압출높이의 변화는 동일하게 유지되므로, 단조해석을 위한 유동응력식을 도출할 필요가 없으며, 특히 소재의 표면팽창율이 타 방법에 비해 매우 크므로 제품형상이 복잡하고 표면팽창율이 큰 일반적인 단조공정에 적용가능하다.

후 기

본 연구는 한국기계연구원 부설 재료연구소의 국제협력사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] A. T. Male and M. G. Cockcroft, 1964, A Method for the Determination for the Coefficient of Friction of Metals under Conditions of Bulk Plastic Deformation, *J. Inst. Metal.*, Vol. 93, pp. 38~46.
[2] 최영민, 김낙수, 1994, 링압축시험에 의한 유동응력 및 마찰인자의 결정, *한국소성가공학회지*, 제3권, 제2호, pp.215-228.
[3] 강종훈, 고병호, 제진수, 강성수, 2005, 온간단조 윤활제의 윤활 및 냉각특성, *한국소성가공*

학회지, 제14권, 제7호, pp. 61~623.
[4] 정덕진, 김동진, 김병민, 2001, 온간 단조에서 윤활 분사 방법에 따른 마찰 상수값의 평가, *한국소성가공학회지*, 제10권, 제4호, pp. 319~328.
[5] Y. T. Im, O. Vardan, G. Shen, and T. Altan, 1988, Investigation of Metal Flow in Non-Isothermal Forging Using Rings and Spike Tests, *Annals of the CIRP*, Vol. 37, pp. 225~230.
[6] T. Nishimura, T. Sato, and Y. Tada, 1995, Evaluation of Frictional Conditions for Various Tool Materials and Lubricants using the Injection-Upsetting Method, *J. Mater. Process. Technol.*, Vol. 53, pp. 726~735.
[7] T. Nakamura, Z. Zhang, and H. Kimura, 1996, Evaluation of Various Lubricants for Cold Forging Processes of Different Aluminium Alloys, *ICFG Do.No.8/96*.(후방)
[8] Nakamura, N. Bay, and Z. Zhang, 1998, FEM Simulation of a Friction Testing Method Based on Combined Forward Conical Can-Backward Straight Can Extrusion, *Trans. ASME. J. Eng. Ind.*, Vol. 120, pp. 716~723.
[9] 김성현, 이호용, 2005, 중공축 소재를 이용한 전후방 복합압출의 성형특성, *한국소성가공학회지*, 제14권, 제9호, pp.772~778.
[10] S. H. Kang, J. H. Lee, J. S. Cheon, and Y. T. Im, 2004, The Effect of Strain-Hardening on Frictional Behavior in Tip Test, *I. J. Mech. Sci.*, Vol 46, pp. 855~869.
[11] 장용석, 황병복, 2000, 전방압출과 연계된 레이디얼압출의 성형특성에 관한 연구, *한국소성가공학회지*, 제9권, 제3호, pp. 242~248.