

밀리 단위의 원형핀 전방압출에 있어서 공정인자가 기계적 성질에 미치는 영향 연구

심경섭*, 김용일(국민대 대학원 기계설계학과), 이용신(국민대 기계-자동차공학부),
김종호(서울산업대 금형설계학과)

A Study on the Effect of Process Parameters to Mechanical Property in Forward Extrusion of Milli-size Cylindrical Pin

K. S. Sim, Y. I. Kim, Y. S. Lee(KMU), J. H. Kim(SNUT)

ABSTRACT

The mechanical properties such as shear strength and the hardness of milli-size products that manufactured for various process parameters by forward extrusion using square dies are investigated. Shear strength test is implemented for the observation of relation between vickers hardness and shear strength in the interface of head and shaft part of a stepped pin. When the extrusion ratios of pure aluminum and pure copper billets increase, the hardness on both the surface and the center line of a pin also increase, especially the hardness on the surface is shown to be a little higher than on the center. The existence of knock-out pad in extrusion die caused hardness increase in the interface of a extruded pin. As compared shear strength with hardness of a pin, the approximated linear relations are suggested in this study.

Key Words : Forward extrusion(전방압출), Extrusion ratio(압출비), Micro-vickers hardness(마이크로비커스경도), Shear strength(전단강도), square die(평금형)

1. 서론

압출공정은 다이 내부에 장착된 소재에 강한 압축력을 작용시켜 제품을 원하는 형상으로 압출하는 소성가공으로 대형자동차 부품으로부터 소형의 체결용 부품, 더 나아가서는 극세선에 이르기까지 폭 넓게 응용되고 있다.

오늘날 제품들은 고기능화, 소형화, 정밀화되는 추세에 따라 공정이 단축되고 생산성이 우수한 압출공정이 생산 현장에서 많이 적용되고 있으며, 이들 성형품은 형상 및 치수 정밀도등의 엄격한 품질 특성이 요구되고 있는 실정이다.

기존의 절삭가공을 탈피하여 압출가공 방식을 적용하면 원가절감 및 품질향상 그리고 높은 생산성을 얻을 수 있어 고부가가치화가 가능하다. 이러한 특성이 반영된 압출공정의 성형품 생산을 위해서는 정확한 제품의 공정설계와 금형설계가 먼저 선행된 후에 정밀한 금형의 제작이 필요하다.

크기가 점점 작아지면서 극소형 성형품의 압출

공정설계에 관한 연구가 현재 활발히 진행되고 있으며, 실험과 해석을 비교한 연구논문들이 발표되고 있다. Lee⁽¹⁾ 등은 전방압출 공정에서 제품의 변형이력과 이를 토대로 공정설계 및 금형설계의 기초자료를 제시하였고, Kim⁽²⁾ 등은 다각형 머리를 가진 제품을 압출/단조 공정으로 생산할 때 압출하중과 압출길이를 상계요소법 해석으로 예측하고 결과를 비교 검토하였다. Lee⁽³⁾는 평금형을 이용한 압출해석에서 얻은 유선을 이용하여 금형의 형상을 결정하는 방법을 제시한 결과 제한적으로 타당함을 검증하였다. Song⁽⁴⁾ 등은 단진 축을 성형하는 데 있어서 전방압출과 업세팅시 하중 및 스트로크를 비교하여 동일형의 제품을 성형하고자 할 때 단면감소율에 따른 최적의 가공방법을 유한요소법으로 시뮬레이션하여 결과를 비교하였다. 육각머리 볼트 생산시에 성형공정에 따른 항복강도와 변형률 분포에 있어서 머리부와 몸통부의 항복강도 값이 거의 비슷한 공정의 제품을 식별할 수 있도록 하였다. 그리고 원형 중실의 전방압

출에 있어서 경도분포 결과 중심부보다는 표면부의 경도가 높으며 위치별로 경도분포를 나타내고 있다.⁽⁶⁾ 최근 들어 유한요소법을 이용한 해석이 성형 공정설계 및 금형설계에 많이 이용되고 있다.⁽⁷⁾

압출제품의 품질에 영향을 미치는 인자로는 압출비, 다이형상, 소재의 유동응력, 마찰, 압출속도등이 있다. 이러한 인자들은 독립적으로 영향을 미치는 것이 아니라 상호 연관되어 복합적으로 영향을 미치므로 압출공정의 개선에는 체계적인 연구가 필요하다.

일반 현장에서 생산되고 있는 밀리 단위의 단진 원형 압출편은 머리부와 몸통부의 경계면에서 파단이 종종 발생되고 있다. 본 연구에서는 밀리 단위의 단진 원형 압출편의 머리부와 몸통부에서 발생하는 파단 원인을 조사하고 해결 방안을 모색하고자 압출비를 변화시켜 전방압출 실험을 수행하였다.

기존의 공정에 따라 생산된 제품의 표면과 중심부에서 경도등의 기계적 성질을 조사하여 이에 따른 공정 개선을 시도하였다.

본 연구에서는 몸통부의 압출량을 조절하여 머리부의 업세팅 시에 머리부와 몸통부의 경계면에 소재의 소성유동이 원활한 공정을 시도하여 녹아웃패드(Knock-out pad)의 유무에 따른 머리부의 변형 형상을 기존 제품과 비교하였다. 또한 압출편의 머리부와 몸통부 경계면에서의 경도와 전단강도관계를 알아보기 위해 전단강도 시험을 실시하였다.

2. 실험방법

2.1 압축시험

압축시험은 최대 하중이 25kN이며 분해능(resolution)이 1 μ m인 만능재료시험기(MTS858)를 사용하였다. 압축시편을 $\varnothing 3 \times 3$ mm로 가공하여 1.5mm의 높이 감소율로 압축시험을 하였다. 압축시험은 순수알루미늄(Al1050)과 순수구리(Cu1100) 각각에 대하여 펀치속도를 0.016mm/sec로 실험하였다.

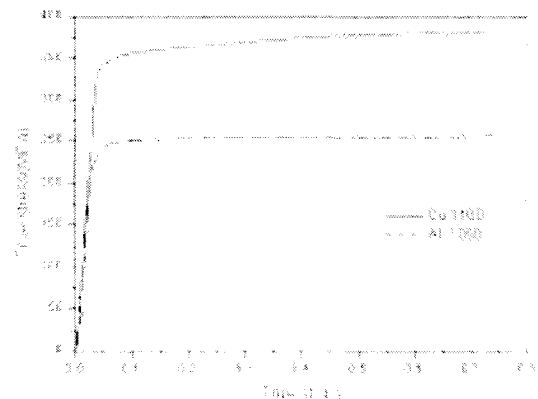


Fig. 1 True stress - strain curves of billets

Fig. 1은 압축실험을 통하여 얻은 순수알루미늄과 순수구리의 진응력-진변형률 선도를 나타낸 것으로 이들 재료의 관계식은 식(1), 식(2)와 같다.

밀리 단위의 압축시편에 대한 가공경화지수가 일반 상용 크기의 순수 소재와는 달리 거의 가공경화 현상이 나타나지 않고 있다.

$$\text{Cu1100} ; \bar{\sigma} = 386 \bar{\epsilon}^{0.1821} \text{ MPa} \quad (1)$$

$$\text{Al1050} ; \bar{\sigma} = 255 \bar{\epsilon}^{0.1821} \text{ MPa} \quad (2)$$

2.2 압출실험

빌렛은 시중에서 유통되고 있는 순수알루미늄과 순수구리 봉재를 사용하였다. 빌렛의 크기는 $\varnothing 3 \times 15.5$ mm이고, 이들의 화학적 성분을 Table 1에 나타내고 있다.

Table 1 Chemical compositions of billets

Billet	Chemical composition(wt%)							
	Al	Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Ti	Zn
Al1050	99.5 ↑	0.05 ↓	0.25 ↓	0.40 ↓	0.05 ↓	0.05 ↓	0.03 ↓	0.05 ↓
Cu1100		99.5 ↑						

시험기와 연결되어 있는 컨트롤러와 컴퓨터 프로그램(Test Star II s)을 이용하여 압출시 빌렛에 작용하는 하중과 변위의 값을 쉽게 얻을 수 있는 시스템으로 구성되어 있다.

일반적인 압출 금형과는 달리 본 실험에서는 제품의 크기가 작은 관계로 금형의 컨테이너와 다이의 파손을 방지하도록 최대 작용 하중을 10kN으로 제한하였고, 상하 그림에 금형을 장착하여 압출실험을 실시하였다. 압출 실험시 편지성을 감안하여 다이를 인서트로 제작하였고, 펀치와 다이의 이송을 정확하게 위치결정하기 위하여 금형에 가이드 포스트를 설치하였다.

압출 실험은 빌렛을 컨테이너 다이 속에 넣은 후 압축력을 가해 다이 출구로 밀어내는 전방압출 방법을 사용하였다. 압출 실험 조건을 Table 2에 나타내고 있다. Fig. 2는 MTS시험기에 압출 금형이 장착된 모습을 보여주고 있다.

1차 압출 실험에 의해 얻어진 각각의 시편을 이용하여 2차 업세팅 실험을 2가지 경우로 나누어 실시하였다. 하나는 녹아웃패드로 몸통부 바닥이 밀폐된 상태에서 머리부를 업세팅하는 경우와 다른 하나는 몸통부 바닥이 자유면인 상태에서 머리부를 업세팅하는 경우이다. 머리부의 높이는 약 50%의 업세팅율을 적용하여 높이가 1.5mm 되도록 하였다. 업세

팅 된 시편을 압출비 별로 전단시험을 하여 전단강도와 경도와의 관계를 조사하였다.

Table 2 Experimental conditions for forward extrusion

Extrusion ratio(E.R.)	1.15	1.33	1.56	1.86	2.25
Reduction of area(%)	12.8	24.8	36	46.2	55.5
Lubricant	MoS ₂				
Extrusion velocity	0.05mm/sec				
Billet size	∅3×15.5mm				

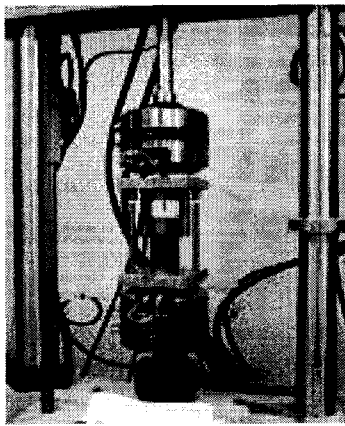


Fig. 2 Experimental set-up(MTS858)

2.3 경도시험

압출비 별로 ∅25mm 크기로 마운팅을 한 후 먼저 시편의 표면부를 연마하여 경도 측정을 끝낸 다음에 시편의 중심부를 연마하여 경도측정을 하였다. 업세팅된 시편도 같은 방법으로 마운팅을 한 후 시편을 연마하여 경도 측정을 하였다. 측정 방법은 마운팅 된 순수알루미늄과 순수구리의 시편을 압출비 별로 표면부와 중심부로 나누어 경도 측정을 하였다. 경도시험에 사용한 마이크로비커스경도기(Model : CS3330)는 하중 10gf, 드웰타임 20sec의 조건으로 경도값을 측정하였다. 머리부를 기준으로 1mm 간격으로 측정하고자 하는 위치에서 3~5번 정도 측정한 평균값으로 경도값을 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압출비의 변화에 따른 압출하중

Fig. 4는 전형적인 압출하중과 스트로크를 나타내고 있다. 초기상태에서 압출 하중이 최대가 되고 압출이 진행되면서 일부 하중이 감소하여 일정한 하

중을 유지하는 정상상태 분포를 보여주고 있다. 압출비에 따라서 순수알루미늄의 경우 최대하중은 정상상태 하중 보다 약 23% 증가되고, 순수구리의 경우에는 약 16%가 증가됨을 알 수 있다. 순수알루미늄과 순수구리 소재를 이용한 압출 실험 모두 압출비가 증가할수록 최대 압출 하중도 약 15~38% 정도 증가함을 Fig. 5에서 알 수 있다. 압출비에 따른 정상상태의 하중과 최대하중의 관계를 비교해봄으로써 공정 설계시에 기초 자료로 활용이 가능할 것으로 기대된다.

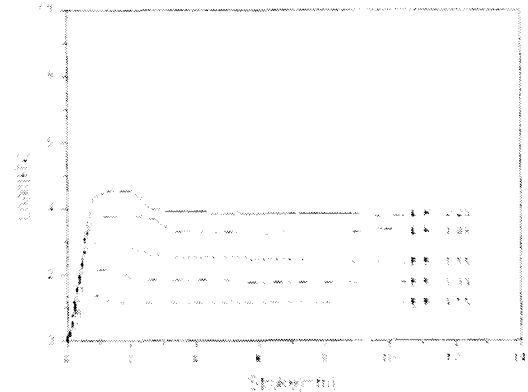


Fig.4 Load - stroke curves according to extrusion ratios(Al1050)

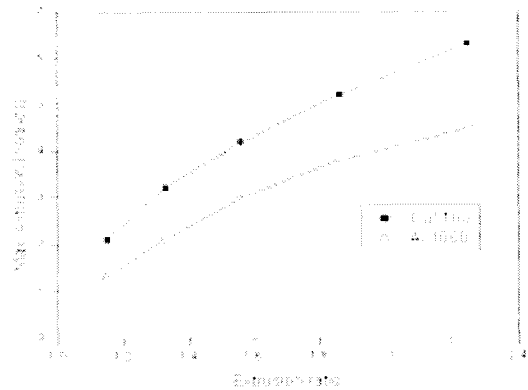


Fig. 5 Comparison of max. extrusion loads according to extrusion ratios

3.2 압출비의 변화에 따른 경도분포

순수알루미늄과 순수구리 소재는 압출비가 증가하면 대체적으로 압출된 소재의 표면부와 중심부의 경도값이 증가하고 중심부보다는 표면부의 경도값이 상대적으로 높음을 알 수 있다. 머리부의 경도값은 초기 빌렛의 경도값과 거의 비슷하며 압출된 소재의 끝부분 역시 초기 빌렛의 경도값과 별 차이가 없다. 이는 압출과정에서 초기와 마지막 상태가 비정상 상태로 압출되어 경도 변화의 자이가 없음을 말해주고 있다.

Fig. 6은 압출된 소재의 표면부 경도 분포를 나타

내고 있고, Fig. 7은 압출된 소재의 중심부 경도 분포를 나타내고 있다.

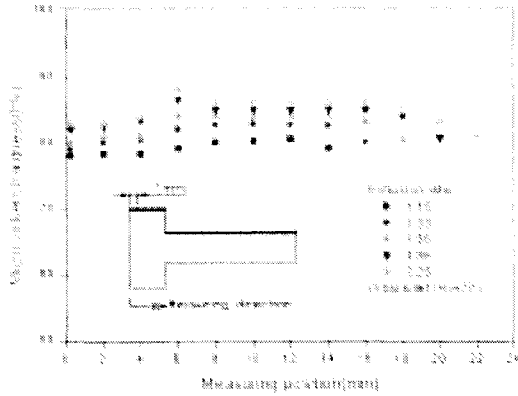


Fig. 6 Hardness distribution in the surface of an extruded pin(Al1050)

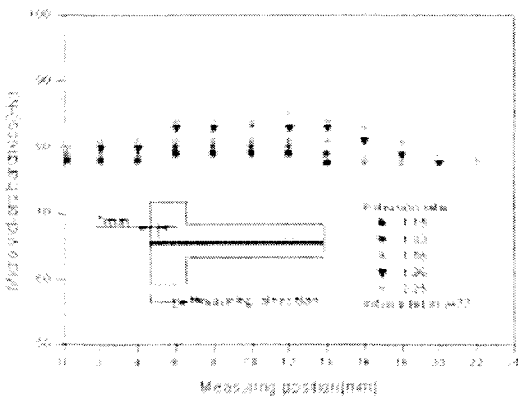


Fig. 7 Hardness distribution in the center line of an extruded pin(Al1050)

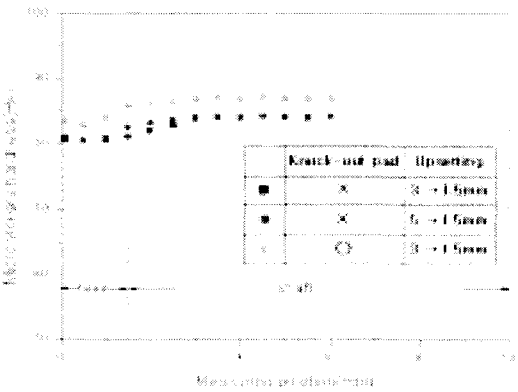


Fig. 8 Hardness distribution in the center line after upsetting(Al1050)

Fig. 8은 순수알루미늄의 압출비가 2.25인 압출핀에 대해 녹아웃패드의 유무에 따른 머리부의 변형 형상을 비교하기 위해 1차 압출된 시편을 2가지 공정으로 업세팅하였다. 녹아웃패드가 없는 업세팅의 경우 머리부와 몸통부의 경계면에서의 경도는 초기 빌렛의 경도보다 약 5.2% 경도가 증가하였다. 그리고 녹아웃패드가 있는 업세팅의 경우 머리부와 몸통부의 경계면에서의 경도는 초기 빌렛의 경도보다 약 10.5% 경도가 증가하고 있다. 이것은 머리부의 높이 감소율보다는 녹아웃패드의 설치 유무에 따라 머리부와 몸통부의 경계면에서의 경도에 더 큰 영향을 미치고 있으며, 공정(금형)설계에 중요 변수로 작용할 수 있다.

3.3 전단강도와 경도의 관계

Fig. 9는 압출비에 따른 전단강도 분포를 나타낸다. 압출비가 증가함에 따라 전단 강도가 증가하는 경향을 알 수 있다. 녹아웃패드 유무에 따른 머리부의 변형 형상 비교에서는 녹아웃패드가 있는 업세팅시에 전단강도가 대체적으로 높게 나타나고 있다.

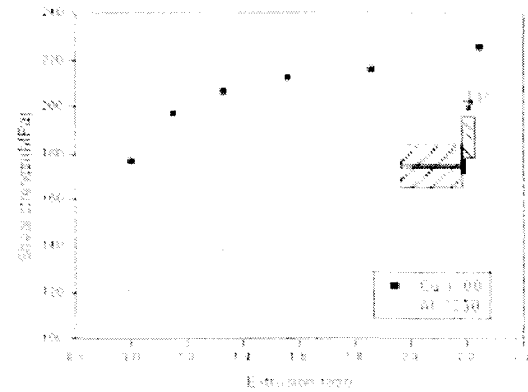


Fig. 9 Comparison of shear strength according to extrusion ratios

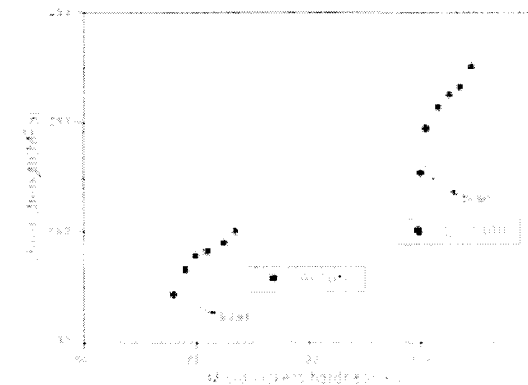


Fig. 10 Relationship between shear strength and hardness

Fig. 10은 순수알루미늄과 순수구리 소재의 경도와 전단강도 분포를 나타낸다. 순수알루미늄과 순수구리 모두 경도가 증가하면 전단강도가 증가하고 있으며, 이들 실험 데이터를 최소자승법(least square method)에 의해 일차함수로 근사화(curve fitting)시킨 결과 다음과 같은 관계식을 얻었다.

Al1050; 전단강도(MPa)=2.3×비커스경도(Hv)-50 (3)

Cu1100; 전단강도(MPa)=4.5×비커스경도(Hv)-356 (4)

많은 실험을 통해 데이터를 가지면 정확한 관계식을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

순수알루미늄과 순수구리의 단진 원형편 전방압출 실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 순수알루미늄의 최대 압출하중은 정상상태의 하중보다 약 23% 증가하고, 순수구리는 약 16% 증가됨을 알 수 있다. 순수알루미늄과 순수구리 소재의 압출비를 1.15에서 2.25까지 변화시켰을 때 최대 압출하중이 약 15~38% 정도 증가함을 알 수 있었다.

2. 순수알루미늄과 순수구리 소재의 압출비가 증가할수록 압출된 소재의 표면부와 중심부의 경도가 증가하였고, 중심부보다는 표면부의 경도값이 상대적으로 높게 나타났다.

3. 녹아웃패드 유무와 머리부의 높이 감소율에 의한 경도 증가 효과를 비교할 때 머리부의 높이 감소율보다는 녹아웃패드의 설치 유무가 머리부와 몸통부의 경계면에서의 경도 증가에 더 큰 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

4. 단진 압출편의 전단강도와 경도는 직선 비례하는 것으로 2가지 시편에 대한 전단강도와 비커스 경도와의 관계식을 제시하였다.

참고문헌

1. 이강희, 박용복, "전방압출 공정에서 제품 변형 이력," 한국소성가공학회지, 제10권, 제1호, pp. 75-79, 2001.
2. 김명훈, 황범철, 김호운, 배원병, "다각형의 머리를 가진 봉의 압출/단조 공정에 관한 UBET 해석," 한국정밀공학학회지, 제16권, 제9호, pp. 110-116, 1999.
3. 이용신, "유동경로를 이용한 축대칭 금형형상의 실용적 결정," 한국소성가공학회지, 제10권, 제2호, pp. 111-114, 2001.
4. 송두호, 박용복, 김민응, "단 달립 형상의 예비성형체 성형에 대한 전방압출과 업셋팅 공정의 비교," 한국소성가공학회 추계학술대회논문집, pp. 82-85, 2000.
5. I. Lange, Kurt, "Handbook of Metal Forming," McGraw-Hill, pp. 10.18, 1985.
6. I. Lange, Kurt, "Handbook of Metal Forming," McGraw-Hill, pp. 15.34-15.35, 1985.
7. M.I, Gokler, H., Darendeliler, and N., Elmaskaya, "Analysis of Tapered Preforms in Cold Upsetting," Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 39, pp. 1-16, 1999.