

◆ 특집 ◆ 직선·회전모터 구동 이송·회전체 연구 III

공작기계용 힌지벨트형 칩컨베이어 핀헤드 성형공정 개발에
관한 연구

A Study on Development of Pinhead Forming Process using Hinge Belt Typed Chip-conveyor for Machine Tools

박동근¹, 최치혁¹, 이춘만^{2,✉}
Dong Geun Park¹, Chi Hyuk Choi¹ and Choon Man Lee^{2,✉}

¹ 창원대학교 클러스터사업단 (K-MEM R&D Cluster, Changwon National Univ.)

² 창원대학교 기계설계공학과 (Department of Mechanical Design & Manufacturing Engineering, Changwon National Univ.)

✉ Corresponding author: cmlee@changwon.ac.kr, Tel: 055-213-3622

Manuscript received: 2010.1.18 / Revised: 2010.2.22 / Accepted: 2010.2.24

This paper presents an investigation into the pinhead forming process with the objective of finding the optimal forming conditions. In order to this, the orbital forming analysis of a heading M/C was carried out using the explicit finite element method. Relationships between temperature by forming of load and stresses, rake angle by forming final shape and stress distribution were investigated through analyses in order to find an efficient solution. As a result, the higher temperature and orbital rake angle were the better forming conditions.

Key Words: Frictional Heat (마찰열), Pressure and Rotating (가압 회전), Heading (헤딩), Orbital Forming (궤도 성형), Orbital Angle (궤도각), Radius of Curvature (곡률반경)

1. 서론

최근 공작기계의 고속·고정도화의 연구와 개발이 급속히 이루어지고 있다. 이에 가공 중 생성된 칩 제거와 관련된 문제점 또한 해결되어야 할 문제로 대두되고 있다. 공작기계에서 절삭 공정 중 생성된 여러 가지 형태의 칩은 빨리 제거되어야 한다. 절삭 칩이 회전하는 공구 주위에 널려있으면 공구(tool)에 휘감겨 제품을 손상시키거나 작업자에게 튀어 안전사고를 유발하거나 심지어 가공 완성된 면에 긁힘 현상으로 제품의 손상을 발생하기도 한다. 이러한 칩을 외부로 배출시키는 부가 장치가 칩컨베이어(chip-conveyor)다. 칩컨베이어는 절삭칩의 재질이나 형태에 따라 다양한 종류

가 있는데 주물계통을 제외하고 일반 선반이나 머시닝센터(machining center)에 적용되는 칩컨베이어는 힌지 타입(hinge type) 플랫컨베이어(flat-conveyor)가 대부분이다. 힌지타입 컨베이어의 제작공정 중에서 프레스(press) 성형된 단위 플레이트(plate)의 연결은 핀(pin)을 끼우고 플랫이 빠지지 않게 양쪽 끝을 헤딩(heading)하여 고정시키는 작업으로 이루어진다. 국내 작업장 대부분이 Fig. 1과 같이 작업자가 산소-아세틸렌 불꽃으로 핀의 끝 부위를 가열한 다음 망치로 타격하여 헤딩작업으로 이루어진다. 이 경우 공장 내 산소-아세틸렌 연소가스 냄새, 작업장 주위 온도상승, 해머작업에 의한 어깨 결림 등 많은 비효율적 문제가 야기되어왔다.

따라서 본 연구에서는 회전가압을 하여 회전마찰력으로 발생하는 마찰열을 이용 가압하므로 마치 마찰용접에서와 같은 원리를 활용하여 헤딩성형이 되는 자동화 작업에 관해 연구하였다. 또한, 보다 효율적인 작업을 위한 궤도각(orbital angle) 조건 변화에 따른 결과예측을 연구하였다.

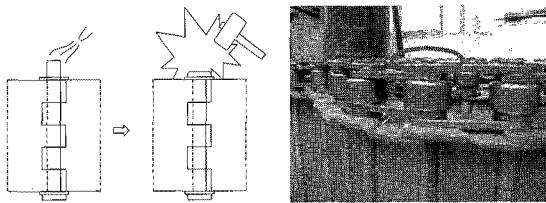


Fig. 1 Hand-operated heading by oxygen-acetylene heating

2. 마찰성형에서의 성형온도 변화에 따른 조건

2.1 장치 설계 및 성형온도 최적화

힌지 타입 플랫컨베이어 조립 공정은 힌지 부위에 연결핀을 관통시키고 끝 부위가 빠지지 않게 냉간 핀 끝단에 헤딩 작업을 실시한다. 우선 헤드 금형을 맞대고 회전시키면 두 소재는 마찰열을 일으킨다. 이 때 가압을 늦추지 않고 계속 지속하면 마찰열에 연화된 핀 소재 끝단은 가압에 의해 소성변형을 일으켜 금형 내부 곡면을 따라 헤딩이 이루어진다.^{1,3} 마찰시 발생하는 열과 마찰 표면의 온도 분포를 나타내며, 접촉면의 온도는 발열량과 밀접한 관계가 있고 마찰면에서 일어나는 현상은 기계적 성질을 좌우한다고 하였다.

핀 끝단부와 헤딩을 위한 가압 금형은 소재의 내열·내마모성을 고려하여 Table 1 과 같이 핀은 S20C, 헤드 금형은 SNCM415 소재를 선정하였다. 일반 가공조건과 유사하게 헤드핀이 헤드부를 평면으로 가압하면서 1800rpm 의 회전 조건으로 상태를 검토하였다. 만약 헤드 금형이 곡률없이 평평한 상태일때는 핀 소재가 버섯모양으로 성형될 때 전연성이 방해되어 성형시 더 많은 힘이 요구된다. 일반적인 성형 공정과 유사하게 헤드 금형의 곡률을 핀 직경의 10 배 정도가 되도록 헤드상면에 곡률을 주어, 주 성형되는 순간 유동성이 좋게 하였다. 이는, 일반적인 헤드 성형용 금형의 곡률을 측정된 결과 평균 핀 직경의 약 10 배 정도의 사용빈도가 가장 높음을 확인하였다. 본 실험

에서도 일반적인 곡률을 통한 성형되는 순간의 유동성을 좋게 하고 헤드의 모양이 표준화되도록 하였다. Fig. 2 는 일반적인 헤딩머신(heading M/C) 성형공정을 보여주고 있다.

Table 1 Material properties of pin and head

	Material	Yield strength	Tensile strength	Elongation
pin	S20C	245MPa	402MPa	28%
head	SNCM415	-	883MPa	16%

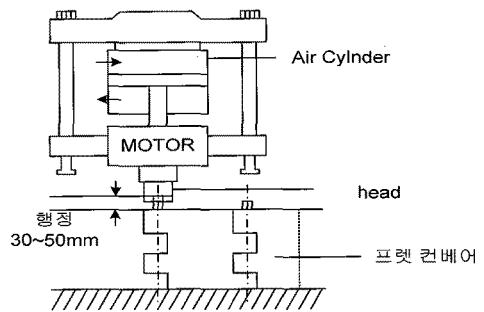


Fig. 2 Schematic of heading M/C

본 장치에서는 공압 실린더를 이용해 동일한 가압(5kg/cm²)을 적용하고, 회전속도는 1750rpm 으로 헤딩 작업 공정을 실시하였다. 회전 가압 공정이 진행될 때 온도를 측정된 결과 3 초에서 300℃, 5 초에서 500℃의 온도가 상승되었다. 온도 측정은 HIOKI 사의 “3418” 비접촉식 온도계를 이용하여 -50~500℃까지 분해능 1℃로 측정하였다. 온도는 헤드가 회전하기 때문에 접촉식 온도측정기는 사용할 수 없어 일반적인 온도 300℃, 500℃, 900℃의 3 조건일 경우 걸리는 수평과 수직부의 응력을 확인해 보았다.

핀 소재 끝단부를 원하는 형상으로 적절하게 변형시키기 위해 압력과 회전력을 주어 끝단이 금형의 접촉면을 따라 버섯모양으로 소성되어 힌지 타입 플랫컨베이어가 이탈되지 않게 견고하게 연결시킬 수 있다. 가압회전 방법은 핀의 직경 외주부로부터 헤드금형이 면접촉으로 맞닿아 가압마찰운동을 하면 축 방향의 끝단면 부위는 자유로운 유동흐름에 의해 소성변형이 시작된다. 이러한 소성유동이 계속되면서 헤드 금형 내부로 점점 접촉면적이 업세팅(upsetting)되어 넓어지면서 굵기야

헤드 금형 내부형상과 동일한 헤딩이 이루어진다. 그러나, 본 연구 초기에서는 300℃, 500℃까지 온도가 올라가도 가압실린더 직경 200mm 로는 헤딩 성형이 잘 되지 않았다. 실질적으로 가열온도가 적어도 1200℃ 정도 되어야 가능할 것으로 추정되어 구체적으로 그 힘을 알아보기 위해 온도 변화에 따라 유한요소 해석을 해 보았다. 일반적으로 알려진 가압회전의 유한요소해석에서는 비선형 접촉에 대한 결과를 얻는데 있어서 많은 시간이 소모되고 해석 오차 누적이 크게 나타나는 불안정한 문제를 발생시킨다. 따라서, 본 연구에서는 헤딩 성형이 형성될 때 수직과 수평의 각 분력의 힘이 얼마나 걸리는지 알아보기 위해 먼저 Fig. 3 과 같이 유한요소모델을 구축하고 소성가공 프로그램인 DEF-ORM 2D 를 이용하여 해석을 실시하였다. 성형온도 해석에서는 비선형 조건인 회전을 제외한 모델링을 통한 2D 해석을 실시하였다.

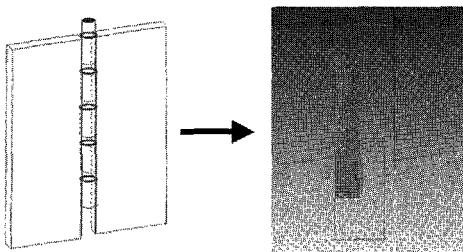


Fig. 3 A finite element model for 2D analysis

2.2 성형부 온도 변화에 따른 최적화

일반적인 가공에서의 온도 변화는 높은 온도에서 보다 나은 가공성을 보여주는 것을 예측할 수

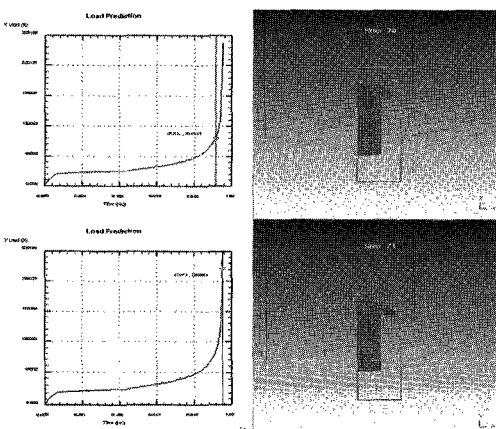


Fig. 4 Load prediction at the end of deformation

있다. 본 연구에서도 일반적인 경향을 보임을 확인할 수 있다. Fig. 4 는 DEFORM 2-D 에서 해석을 수행한 결과를 보여주고 있다. 헤딩 금형이 소재를 눌렀을 때 시간에 따른 업세팅 형상 변화와 하중의 변화를 보여주고 있다. 헤딩 공정은 일정한 하중 변화를 보이다 급격한 하중변화를 보여주고 있다. 이는 소재의 완전 압축상태에서 일어나는 불규칙한 변화로 본 연구에서는 고려하지 않아야 할 부분이다.

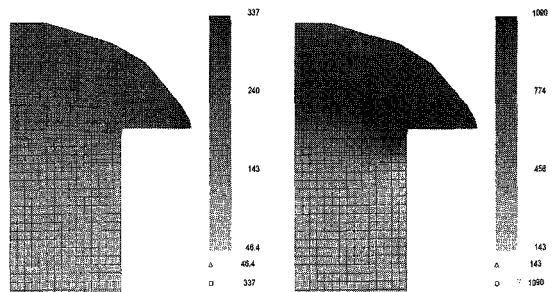


Fig. 5 Heat and stress distribution at the end of deformation (300℃)

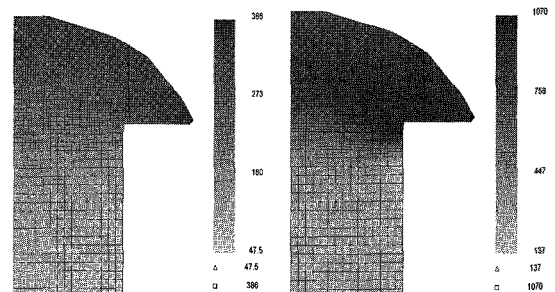


Fig. 6 Heat and stress distribution at the end of deformation (500℃)

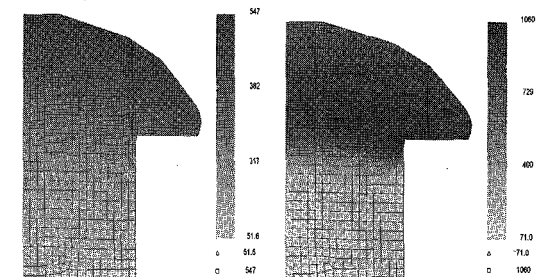


Fig. 7 Heat and stress distribution at the end of deformation (900℃)

Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 에서는 각 온도 조건별 성형 공정 해석 결과들 중에서 완료 단계에서 소재에 작용하는 발열분포와 응력분포를 나타내었다. 성형 공정 중 동일 시간에서의 발열분포를 보면 높은 온도에서의 공정에 많은 발열을 수반함을 알 수 있으며, 응력분포에서는 높은 온도 조건으로 이동할수록 적은 응력이 작용한다는 것을 확인할 수 있다. Fig. 5 는 300℃에서 금형이 소재를 눌렀을 때 해석결과를 나타내었다. X 축 방향으로서는 최대 188kN, Y 축 방향으로서는 최대 288kN 이 발생하였으나 전반적인 공정에서 100kN 이하의 하중을 받다 완전 압축상태의 최종 스텝에서 급격히 오르는 것으로 알 수 있다. Fig. 6 은 500℃에서 금형이 소재를 눌렀을 때 해석결과를 나타내었다. X 축 방향으로서는 최대 168kN, Y 축 방향으로서는 최대 265kN 이 발생하였으며 응력과 온도에 대한 결과값을 나타내었다. Fig. 7 에서는 900℃에서 금형이 소재를 눌렀을 때 해석결과를 나타내었다. X 축 방향으로서는 최대 143kN, Y 축 방향으로서는 최대 249kN 이 발생하였으며 응력과 온도에 대한 결과값을 나타내었다. Fig. 8 은 해석 결과 온도 변화에 따른 하중평균을 그래프화 하였다. 일반적 가공성향과 유사한 예측된 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 온도와 하중의 상관 관계를 본다면 소재나 금형의 온도를 올려서 성형하는 방법이 가공 시간이나 장비 수명에 큰 이점을 가지나, 장비 설치 시 온도 상승을 위한 가압을 만들 수 있는 실린더의 용량이 커져야 하는 문제점을 수반하고, 실린더 용량이 커지기 위해 장비가 커져야 함을 알 수 있다. 이는 헤딩머신의 가공 능력에 비해 지나치게 많은 설치비를 요구한다.

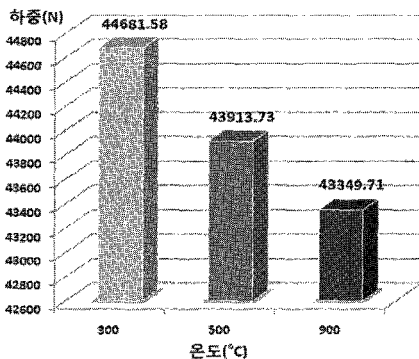


Fig. 8 Average forming load by temperature change

3. 마찰성형에서 성형각도 변화에 따른 조건

3.1 최적화를 위한 궤도성형

본 연구에 앞서 실행된 온도와 헤딩머신의 관계는 실질적으로 설치비가 올라가야 하는 문제점이 발생하여 보다 효율적인 방법인 궤도성형 (orbital forming)에 대한 연구 필요성이 대두되었다.

재료를 소성 변형시켜 원하는 형상으로 가공하는 성형기술들이 여러 분야에 적용되어 왔다. 특히 보다 적은 힘으로 가공하기 위해 현재도 많은 연구들이 이루어지고 있다. 그 중 점진성형기술 (incremental deformation technique)의 한가지인 회전 단조 혹은 궤도단조로 불리는 궤도성형을 적용하여 헤딩작업의 최적화 조건을 제시하고자 한다. 종전 성형 방법은 소재를 전면 압축하여 큰 하중을 필요로 하기 때문에 대형화, 투자비, 소음, 진동 문제점이 발생하였다. 이에 접촉면을 적게 하여 하중을 줄이기 위해 헤드 금형에 곡률반경을 적용하였다. 더 나아가, 금형에 경사각을 이용하여 접촉면을 더욱 줄이는 방법이 개발 되었다. 기계의 소형화가 가능하고 소음, 진동의 문제도 해결 되는 장점을 가지고 있다.

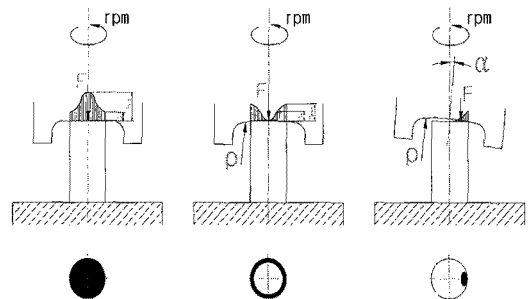


Fig. 9 Schematic of orbital forming processes

Fig. 9 에서는 기존 성형법과 궤도성형법의 하중 분포 경향을 도식화하여 보여주고 있다. 소재에 걸리는 가압하중을 F , 헤드 금형의 곡률반경(radius of curvature)을 ρ , 궤도성형을 위한 궤도각을 α 로 나타내었다. 본 연구에서는 궤도성형에서의 궤도각을 $3^\circ, 5^\circ, 7^\circ$ 의 3 가지 조건에서의 유한요소해석을 통한 헤딩 작업시 최적의 경사 조건을 제시하고자 한다. Fig. 10 과 같이 유한요소모델을 구축하고 소성가공 프로그램인 DEFORM 3D 를 이용하여 해석을 실시하였다.

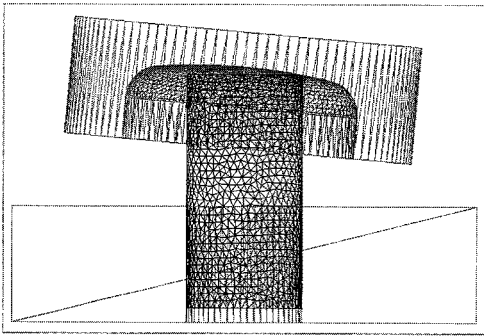


Fig. 10 A finite element model for 3D analysis

3.2 성형부 각도 변화에 따른 최적화

일반적으로 헤딩공정에서 사용되고 있는 수직 방향 주축과 회전중심축은 5° 로 많이 사용되고 있다. 이에 본 연구에서는 최적의 궤도각을 선정하여 보다 적은 부하를 이용하여 사이클타임을 줄여 생산공정에 적용하고자 하였다. 궤도각에 대한 경향을 확인하기 위해 열 조건은 제외한 상온에서 해석을 실시하였다. 궤도성형에 대한 해석을 위해 상용 해석 프로그램인 DEFORM 3D 를 이용하였다. Fig. 11 은 초기 공정에서 소성변형 후 버섯 모양의 형상이 만들어지는 공정을 보여주고 있다. 가압과 회전이 동시에 일어나고 접촉부위가 적은 해석이기 때문에 해석시 많은 시간이 소모되었다. 비선형 접촉에 따른 메시의 재배치 또한 해석 시간 소모의 큰 원인이라 볼 수 있다. 초기는 접촉면적이 적다가 변형이 완료되어 갈수록 접촉면적이 넓어지며 부하가 커지고 있음을 확인할 수 있다. 또한 해석이 진행되는 과정에서 소성변형으로 인한 불규칙적 접촉면이 생성되어 접촉면이 넓어지는 부분이 발생하였다. 최종 데이터의 수치적 변동의 원인으로 판단할 수 있다. Fig. 12 에서 는 진행 공정시 받는 부하를 보여주고 있다. 비선형적 접촉에 따른 데이터의 수치적 변동이 일어나고 있음을 알 수 있다. 하지만 3 조건의 변형 결과를 보았을 때 비슷한 경향을 보이고 있음을 확인하였다.

Fig. 13 은 회전중심에 따른 기울어진 각도에 따른 결과를 비교하여 보여주고 있다. 수치적 변동이 심하게 나타나고 있지만 일반적인 경향으로 회전 중심에 대해 궤도각이 커질수록 부하가 적게 받는 것을 확인하였다. 이는 궤도 성형시 회전중심에 대해 큰 궤도각을 줄수록 적은 힘으로 빠른 헤딩공정을 할 수 있다는 것을 의미한다. 하지만,

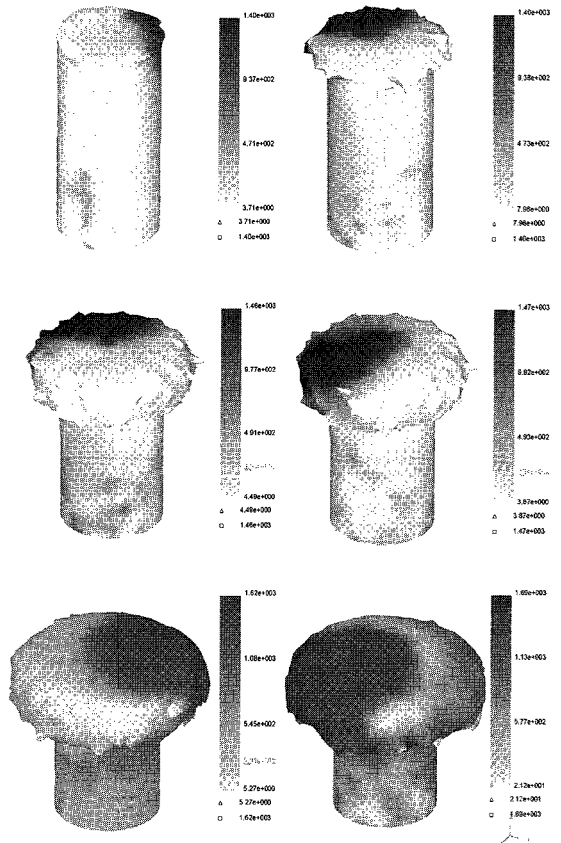


Fig. 11 Deformed shapes and stress in the 3D analysis

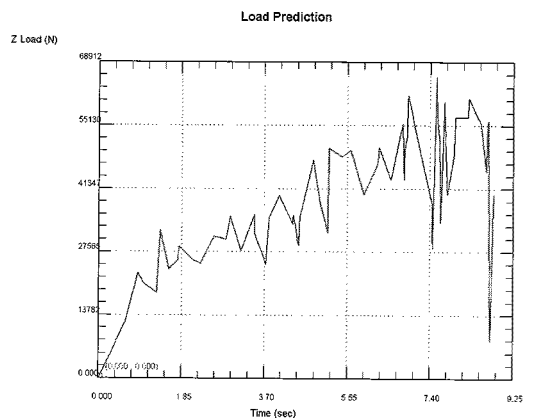


Fig. 12 Forming load by the 3D analysis

실질공정에 적용을 위해서는 가압회전용 금형의 크기와 소재의 크기가 고려되어야 한다. 일반적으로 리벳팅(riveting)과 같은 공정에서는 작은 크기의 소재를 이용하기 때문에 궤도각을 크게 했을

때 금형의 간섭이 발생할 우려가 고려되어야 한다. 따라서, 실질적으로 궤도각을 크게 하고 소재와의 간섭을 피할 수 있는 금형 설계 방법이 고려되어야 할 것이다.

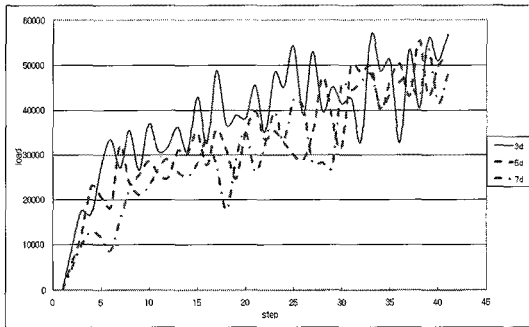


Fig. 13 Comparison of the load according to orbital angle

4. 결론

본 연구에서는 궤도성형법을 이용한 헤더머신에 적용 가능한 최적의 조건을 제시하고자 하였다. DEFORM 2D 를 이용하여 공정시 최적의 가열 온도 상관조건을 제시하였고, 3D 해석을 통한 공정시 회전축과 금형간 궤도각의 최적 상관조건을 제시하였다. 장치 개발 실험에서 가장 하중에 영향을 주는 것은 헤드 내부 금형이 평평한 것보다 내부를 소재의 10 배 정도의 곡률을 주면 가압하중이 적게 작용할 수 있는 것을 파악하였다. 또한 가압을 점점 더 세게 하면서 회전수는 일정하게 하면 발열이 더 높아져서 공정시보다 좋은 조건을 응용할 수 있다. 하지만, 높은 온도를 만들기 위해 가압을 크게 하는 것은 설치비 상승이라는 단점을 수반한다. 버섯모양의 헤드를 성형하기 위해 충격 압력보다 가압회전 성형방법, 즉 핀 직경방향 끝부분부터 가압하면서 회전운동을 시켜 점차 접촉 부위를 넓혀가는 것이 부하가 적게 되는 것도 알았다. 또한, 접촉각도를 크게 할수록 보다 이상적인 성형을 가능하게 한다는 것을 알 수 있다. 하지만, 소성변형에서 일어나는 불균질적인 부하 및 접촉면의 차이에서 일어나는 문제점 및 한계량 등의 연구가 이루어져 보다 부하가 적게 받을 수 있는 가압회전법의 개발이 필요로 할 것이다. 그리고, 궤도각을 크게 하기 위한 금형 설계 방법 및 메커니즘의 개발에 대한 연구가 더욱 필요할 것이다.

후 기

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업 [RTI04-01-03] 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Spindler, D. E., "What industry Need to Know about Friction Welding," *Welding Journal*, Vol. 73, No. 3, pp. 37-42, 1994.
2. Yeo, S.-E., "A Study on non-linear transient heat-transfer analysis in SM25C friction Welding," A Master's Thesis, Department of Mechanical Engineering, Chung-nam National University, 2004.
3. Vill, V. I., "Friction Welding of Metals," *Svarochne Proizvodstvo*, Vol. 3, No. 9, pp. 8-23, 1957.
4. Park, J.-N., Keh, J.-E. and Kim, B.-M., "A Experimental Study of Automobile Hub Clutch used Flow Control Forming Techniques," *Journal of the KSPE*, Vol. 19, No. 12, pp. 142-149, 2002.
5. Yoo, Y. H. and Yang, D. Y., "Application of the explicit time integration finite element method to quasi-static metal forming problems." *J. of the KSPE*, Vol. 12, No. 12, pp. 53-63, 1995.
6. Cho, H., Koo, J., Bae, W. and Lim, J., "A Study on Orbital Forming Analysis of Automotive Hub Bearing using the Explicit Finite Element Method," *Trans. of KSAE*, Vol. 16, No. 1, pp. 29-36, 2008.
7. Moon, H. K., Lee, M. C., Chung, J. H. and Joun, M. S., "Finite Element Analysis of Orbital Forming Process in Bearing Manufacturing," *Trans. of Materials Processing*, Vol. 14, No. 1, pp. 29-36, 2005.
8. Nowak, J., Madej, L., Ziolkiewicz, S., Plewinski, A., Grosman, F. and Pietrzyk, M., "Recent development in orbital forging technology," *International J. of Material Forming*, Vol. 1, Suupl. 1, pp. 387-390, 2008.
9. Lee, K. B., Jung, C. B. and Kim, Y. B., "Identification of Parameter for Bearing Using Orbit Data," *J. of the KSPE*, Vol. 20, No. 3, pp. 112-119, 2003.
10. Lee, S.-H., Park, T.-W., Park, J.-K., Yoon, J.-W., Jun, K.-J. and Jung, S.-P., "A Fatigue Life Analysis of Wheels on Guide-way Vehicle using Multibody Dynamics," *Int. J. Precis. Eng. Manuf.*, Vol. 10, No. 5, pp. 79-84, 2009.