

강관의 내면비드 제거 깊이가 하이드로포밍 성형성에 미치는 영향도 분석

김봉준¹ · 박광수¹ · 김대현¹ · 문영훈[#]

The effects of the grinding depth of the inner bead on the steel tube hydroformability

B. J. Kim, K. S. Park, D. H. Kim, Y. H. Moon

Abstract

In the roll forming, a flat strip is progressively deformed by feeding it through a series of rotating rolls. There are various layouts for the tube toll-forming stages. The process sequences are as follows: leveling, roll-forming, welding, bead removing, seam annealing, cooling, sizing and cutting. Electric resistance welded(ERW) tubes have been widely used for the machinery parts, especially for hydroformed automotive parts. However conventional ERW tubes do not have a high formability because of hardening of welded portion by rapid cooling. Moreover the decrease in thickness of the welded portion during the grinding of the inner and outer bead may reduce the formability of the tube. In case of applying the tubular parts without grinding the bead, the flow of the fluid can be prevented due to the turbulent flow induced by the inner bead. In attempt to determine the optimal bead grinding amount in the roll forming process, in the present paper, the effects of the removal depth and width of the inner beads on the hydroformability are analyzed by the finite element simulation.

Key Words : hydroforming, ERW tube, bead, formability, 310s stainless tube

1. 서론

연비향상 및 배기오염 감소에 관련된 각종 규제 및 법규를 만족하기 위해서는 필수적으로 자동차의 경량화를 이루어야 하며, 국내외 많은 자동차 업체에서도 경쟁적으로 경량 차량의 개발에 나서고 있다.[1] 대표적인 차량 경량화 공법인 하이드로포밍 공정기술이 진보함에 따라, 고강성 및 생산비용 저감 뿐 아니라 생산원가 절감과 안전성 면에서도 자동차 산업 전반의 경쟁력을 향상시킬 수 있게 되었다. 관재 하이드로포밍 공정에 주로 사용되는 스틸(steel) 관재는 주로 전기저항 용접(ERW) 관재(tube)로 롤포밍(roll forming) 공정을 통해 스킵프(skelp)가 회전롤 사이에서 연속적

으로 오픈 파이프(open pipe)로 변형된다. 이 때 오픈 파이프의 양 에지(edge)부를 전류에 의해 줄(joule)열로 가열하고, 스킵지롤(squeeze roll)로 압력을 가해 접합한다.(Fig. 1) 이 때 스킵지롤에 의한 횡방향으로부터의 가압에 따라 고온의 연화부가 변형되어 비드(bead)가 되고, 접합면으로부터 용융된 강이 배출되어 접합된다. 이 때 발생하는 비드는 통상 용접 직후에 절삭하여 제거한다. 외면 비드는 필히 제거되지만 내면 비드는 소경관인 경우 제거가 어려워 보통 그냥 사용하게 되는데, 이 경우 그 최종 성형품이 배관으로 사용될 경우 유체가 흐를 때 난류를 일으켜 흐름에 저항을 줄 수 있으며, 다른 성형 부품과의 체결시에도 치수 결함의 요인이 될 수도 있다. 따라서 본 연

1. 부산대학교 정밀기계공학과
교신저자: 부산대학교 정밀기계공학과,
E-mail: yhmoon@pusan.ac.kr

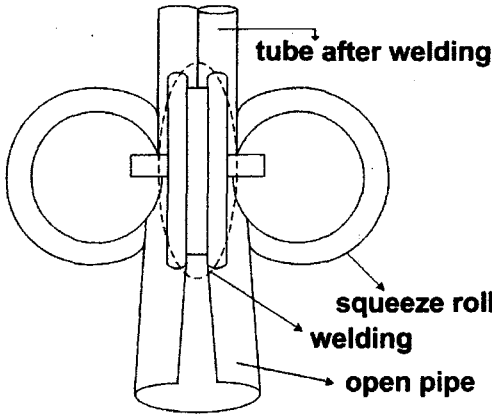


Fig. 1 Schematic drawing of the electric resistance welding

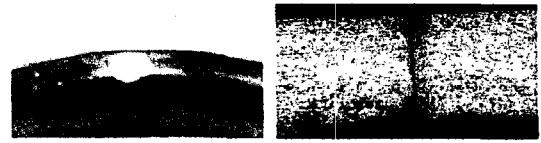
구에서는 하이드로포밍 공정에 적용시 내면 비드를 제거하는데 이 때 제거 깊이와 폭에 따라 하이드로포밍 성형 시 파단 위치 및 확관량 등의 성형에 미치는 영향도를 310S 스테인레스(stainless) 관재(외경: 50.8mm, 두께: 2mm)를 이용하여 분석하고자 한다.

2. 실험방법

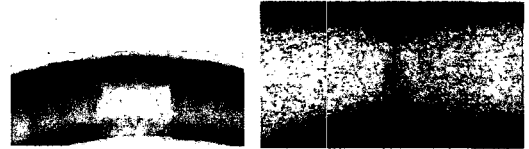
2.1 실험장비 및 실험방법

하이드로포밍 실험에 사용된 실험장치는 4 주형 하향식 유압프레스 80ton 급에 고압 생성장치로 증압기(intensifier 최대성형 압력 200MPa)가 장착되어 있으며, 좌우 양쪽에 유압 압입 실린더 2 대와 유압을 공급하는 서보유압 장치 등으로 구성된다. 하이드로포밍 성형은 관재를 금형 사이에 놓고, 상하 금형을 프레스 가압에 의해 체결한 후에 양쪽 유압 압입 실린더로 관재 양쪽 끝단이 실링(sealing)되도록 전진시킨다. 이 후에 고압의 액압유체를 유압 압입 실린더에 연결된 편치를 통하여 관재 내부에 공급하여 관재를 확관 성형시킨다. Fig. 2 에서 보이듯이 본 실험에 사용된 관재는 스테인레스 310S(외경: 50.8mm, 두께: 2mm)로 내면비드가 깊이 0.3mm, 폭 8.2mm 로 제거된 시편과 내면 비드가 그대로 잔존하는 시편의 확관 성형 특성을 비교하고자 한다.

2.2 원통형 확관시험



(a) as-received



(b) bead removed

Fig. 2 bead removing after welding

본 실험에서는 캐비티(cavity) 단면 형상이 원형인 금형을 이용하여 다양한 내압-축압입량의 부하 경로하에서의 파단과 주름 발생 정도를 평가하였다. 성형 공정 중 축압입량이 내압에 비해 상대적으로 너무 작은 경우에는 별징되는 부분에 충분한 재료 공급이 이루어지지 못하여 조기 파단으로 이어지거나 이와 반대로 과도한 축압입량이 관재에 작용할 경우 축방향으로 주름이 발생하게 되는데, 따라서 내압과 축압입량의 최적 부하경로를 찾는 것이 중요하다. 먼저 Fig. 3 에서 보이듯이 축방향 압입없이 내압만으로 성형시킨 결과, 같은 소재임에도 불구하고 내면비드를 제거한 경우 파단압력(P_i)이 2MPa 정도 낮은 상태에서 조기 파단이 일어나 원주방향 확관이 6.5mm 이상 작게 변형되었으며, 파단 위치 역시 내면비드를 제거하지 않은 경우에는 용접부 기준 10° 지점의 모재부에서 파단이 일어난 반면 내면비드를 제거한 경우 용접부 중심에서 찢어졌다. 아울러 Fig. 4(a)에서 처럼 내압-축압입량의 최적 부하경로의 차이를 파악하기 위하여 다양한 부하경로로 순차적으로 성형해본 결과 내면비드를 제거하지 않은 경우 최대확관높이가 80mm 로 중심부 원주방향 확관량이 91.7mm 정도까지 성형된 반면 Fig.4 (b)에서 보듯이 내면비드를 제거한 경우 축압입으로 유입된 소재가 금형 캐비티에 유입되기 전에 주름(wrinkling)이 잔존한채 파단이 일어나, 중심부 원주방향 확관량이 65mm 이상 성형이 일어나지 않았다.



specimen	Pi(Mpa)	expansion amount(mm)
(1)as-received	33.3	13.9
(2) bead removed	31.2	7.2

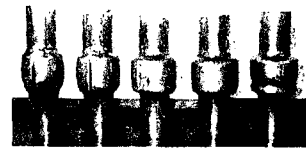
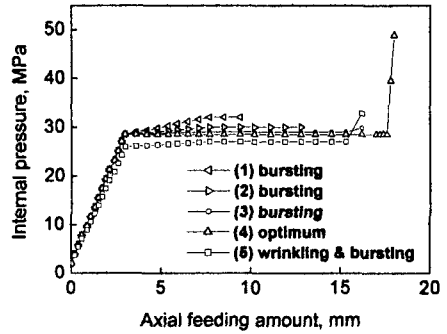
Fig. 3 Deformed shapes of circular tubes during simple bulging(1 : as-received, 2 : bead removed)

3. 성형해석

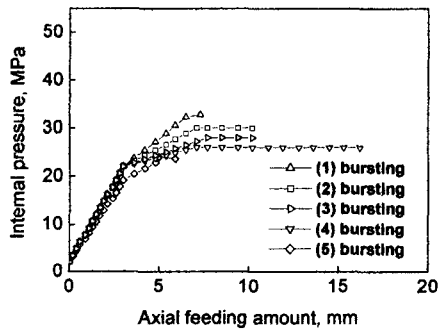
3.1 내면비드제거 깊이, 폭의 영향도 분석
 앞 장의 실험 결과 내면비드 제거시 하이드로 포밍 성형성을 현저히 저하시킴을 확인했다. 따라서 본 장에서는 implicit 해석프로그램인 MARC 를 이용하여 내면비드제거 깊이와 폭에 따른 관개의 변형량 분포를 파악하여 톨포밍 성형시 적절한 조업변수로서 하이드로포밍 성형성에 영향을 미치지 않는 범위의 최적 내면비드제거량을 확인하고자 한다. 해석을 함에 있어서 대칭성을 고려하여 1/8 형상으로 모델링을 하였으며, 해석에 사용된 관개의 모재부와 용접부의 물성치는 table. 1 에 나타냈고, 원주방향으로 33 개의 요소, 두께 방향으로 3 개의 요소를 사용하였다.

Table 1 Material properties of the 310S stainless tube(W : weld metal, B : base metal)

	EI (%)	YS (kgf /mm ²)	TS (kgf /mm ²)	fitting curve $\sigma = K\epsilon^n$	
				n	k
W	21.85	52.8	67.3	0.195	72.14
B	28.01	42.1	63.1	0.265	66.32



(a) Various loading path(as-received)



(b) Various loading path(bead removed)

Fig. 4 Relationship between internal pressure and axial feeding amounts

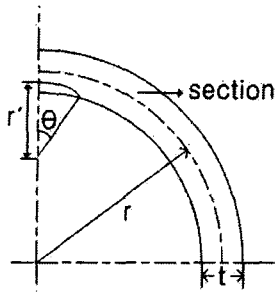


Fig. 5 The depth and width of the die removing

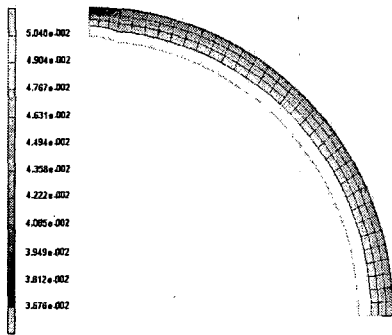


Fig. 6 The distribution of the equivalent strain

기존의 하이드로포밍 성형해석시 용접부 물성을 모재부 물성과 함께 고려해서 결과들을 분석했으나[2], 내면 비드가 제거된 형상(geometry)을 고려하지 않았다. 본 연구에서는 Fig. 5 에서와 같이 주요 형상 변수로 내면비드 각도(θ)와 깊이(r')로 잡고 해석을 수행하였다. 해석 결과 Fig. 6 과 같이 전체적으로 관재 내측의 등가변형률(equivalent strain)이 외측부에 비해 높은 경향을 나타냈는데, 이는 관재의 내측부에서의 파단 진전이 주로 나타나는 원인이 된다. 아울러 Fig. 7 에서는 최대성형압력 $P_{max}=30\text{MPa}$ 하에서 내면비드를 제거함에 따라 용접부의 등가 분미세스응력(equivalent Von-Mises stress)가 10MPa 이상 상승하여 제거깊이가 올라감에 따라 그 값은 더 올라갔다. 이의 국부적인 응력 상승에 따른 관재의 두께변화를 최대성형압력에 따라 평가해본 결과 Fig. 8 에서와 같이 제거깊이에 따라 두께가 선형적으로 감소되는 것은 물론 성형압력이 증가함에 따라 두께 변화가 더 크게 나타났다. 실제 실험 결과 성형압력이 35MPa, 두께가 1.75mm 에서 파단이 일어났는데, 내면비드제거깊이가 0.2mm, 폭 17.5° (두께 대비 10%이내)이내로 제거해야 내면비드제거로 인한 조기파단을 막을 것으로 판단된다.

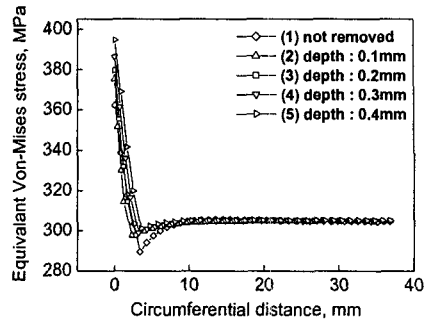


Fig. 7 The distribution of the equivalent strain

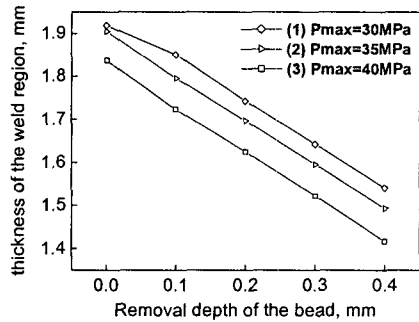


Fig. 8 The distribution of the equivalent strain

4. 결론

본 연구에서는 하이드로포밍 성형시 내면비드를 제거한 관재의 성형성이 현저히 저하되는 사실을 확인하고, 내면비드 제거 깊이와 폭에 따른 성형 양상을 성형해석을 통해서 정량적으로 평가했으며, 조관공정시 작업변수로서 하이드로포밍 성형성에 영향을 미치지 않는 범위의 내면비드제거량을 검토하였다.

참고 문헌

[1] Chai Won Kim, 2000, The trend weight reduction technology in new generation vehicles, The Korea Institute of Metals and Materials, Vol. 7, pp. 3~13.
 [2] Srinivasan. T. M., Shaw. J. R. Thompson. K. 1998, Tubular hydroforming : correlation of experimental and simulation results, SAE special publications, Vol. 1322, pp131~137