

온간 하이드로포밍 공정을 위한 시스템 설계

김봉준¹, 박광수¹, 손성만², 이문용², 문영훈[#]

Process Design for the Tubular Hydroforming at Elevated Temperatures

B. J. Kim, K. S. Park, S. M. Sohn, M. Y. Lee, Y. H. Moon

Abstract

Process design has been performed for the warm hydroforming of light weight alloy tubes. For the heating of tubes, specially designed induction heating system has been adopted to ensure rapid heating of tubes. The induction heating system uses 30kHz frequency induction coil in order to concentrate the energy in the tube and prevent the energy loss. But the induced heat by the integrated heating system, consisting of induction coil, tube, pressure oil and dies, was normally not equally distributed over the length and circumference of the tube specimen, and consequent temperature distribution was non-uniform. So additional heating element has been inserted into the inside of the tube to maintain the forming temperature and reduce temperature drop due to heat loss to the molds. And for that heat loss, a heat insulation system has also been installed. The drop in flow stress at elevated temperatures results in lower internal pressure for hydroforming and lower clamping forces. The proposed warm hydroforming process has been successfully implemented when applying 6061 aluminum extruded tubes.

Key Words : Warm Hydroforming, Aluminum Alloy, Induction Heating

1. 서론

하이드로포밍을 연구하는데 소재기술, 설계기술, 성형공정기술, 금형기술의 네 가지 정도로 분류할 수 있는데 이중 소재기술의 경우 대체재료로서 경량재료의 적용에 의한 차체 경량화 기술로 재료로는 알루미늄, 마그네슘, 플라스틱 등의 재료들이 주를 이룬다. 이 중 2000 년도에 차체에 적용되는 알루미늄 부품의 경우 캐스팅 성형품이 70.7%인 반면 압출 성형품을 이용한 경우가 9.1% 정도로 향후 2010 년까지 압출 성형품의 수요가 13.6%까지 증가할 전망이다. 압출 공정으로 제조된 알루미늄 관재는 일반적으로 에너지 흡수율이 좋고, NVH 응답성이 뛰어난 것은 물론 내식성이 탁월하다고 알려져 있다. 또한 용접 seam 부가

없기 때문에 원주방향으로 전체적으로 균일한 기계적인 물성을 갖는다. 반면에 알루미늄 소재의 성형성은 상온에서는 철계 소재에 비해 크게 떨어진다. 아울러 철계 소재의 대체재로서 최종 성형품의 강성 확보를 위해 두께를 증가시키는 것이 불가피한데, 이에 대한 체계적인 데이터 확보가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 알루미늄 소재의 성형성 향상을 위해 알루미늄의 온도에 따른 성형 특성을 활용하여 온간 하이드로포밍 성형공정 기술을 개발, 적용하고자 한다.[1] 이에 온간 하이드로포밍 성형을 위해 짧은 시간에 원하는 온도까지 소재를 균일하게 가열시킬 수 있는 시스템을 설계, 제작하고, 이를 이용하여 고강도 알루미늄 합금 관재에 대한 온도별 성형성을 평가하였고, 적용된 온간 시스템의 공정 최적화를 시켰다.

1. 부산대학교 정밀기계공학과

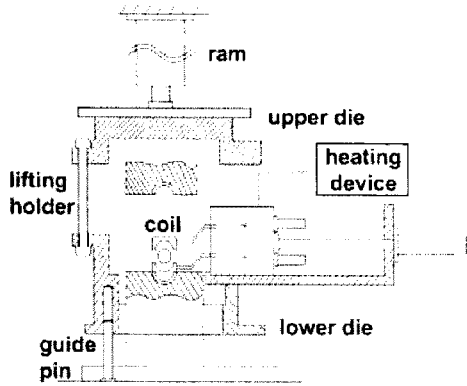
2. 성우하이텍 기술연구소

교신저자: 부산대학교 정밀기계공학과,

E-mail: yhmoon@pusan.ac.kr

2. 실험방법

2.1 실험 장치 설계 및 제작



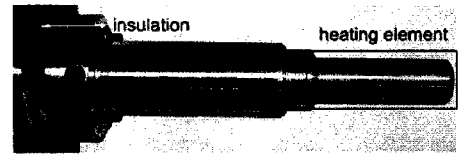
(a) Induction heating system



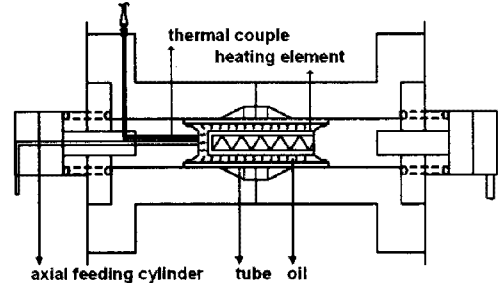
(b) Induction heating coil

Fig. 1 Schematic drawing of the induction heating system

온간 하이드로포밍 시스템 설계시 주되게 고려된 사항은 가능한 빠른 시간에 설정온도(preset temperature)까지 가열시킨 후 소재의 온도 분포의 균일도와 성형 단계에서 금형과의 접촉과 대기로의 열전달로 인한 온도 저하를 최소화시키는 것이다. 이를 위해 고주파 유도가열방식을 이용하여 관재를 가열시킴과 동시에 관재 내부의 압력 유체의 온도를 금형에 부착된 히팅 카트리지를 이용하여 동시에 가열하는 방식을 선정하였다. Fig. 1(a)는 본 연구에서 설계된 온간 액압 성형 장치의 개략적인 단면 구성도로서, 유도가열 코일이 관재를 감싼 후 가열시키기 위해 90 톤급 유압 프레스가 상승시 lifting holder로 연결된 하부 bolster가 같이 들어올려지는데, 이 때 하부 금형은 원래 위치에 안착되어 있어 코일이 관재 주변을 감싸



(a) Set-up of the heating element



(b) Cross section view of the heating element

Fig. 2 Perspective view of the heating element system

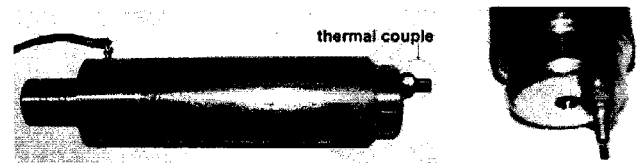


Fig. 3 Set-up of the thermal couple for temperature measurement of the pressure medium

게 될 경우(Fig. 1(b)) 금형과의 간섭이 일어나지 않고 가열시킬 수 있다. 관재 내부에 유입되는 유체는 끓는점 320℃ 이내인 열매체유를 사용하여 300℃ 이상까지 관재를 가열할 수 있도록 하였다. 아울러 Fig. 2 에서와 같이 관재 내부의 열매체유를 히팅 카트리지를 이용하여 가열시킴으로써, 유도가열로 인한 관재의 온도 구배를 줄이는 한편, 온간 하이드로포밍 성형시 금형과의 접촉으로 인한 열손실을 최소화하였다. 아울러 펀치로의 열손실을 막기 위해 끝단에 단열재를 삽입시켰다. Fig. 3 은 관재 내부의 오일 온도를 측정하기 위해 펀치 끝단에 K-type 열전대를 부착시켰다.

2.2 유도가열 장치의 주파수 선정

유도가열에서는 교류 전원에 연결한 가열 코일에 흐르는 전류에 의해 자계가 발생되고, 이 자계는 코일 사이에 위치한 관재 내에 이에 상쇄되는

$$\delta_F = \sqrt{\frac{\rho_a}{f\mu}} \quad (1)$$

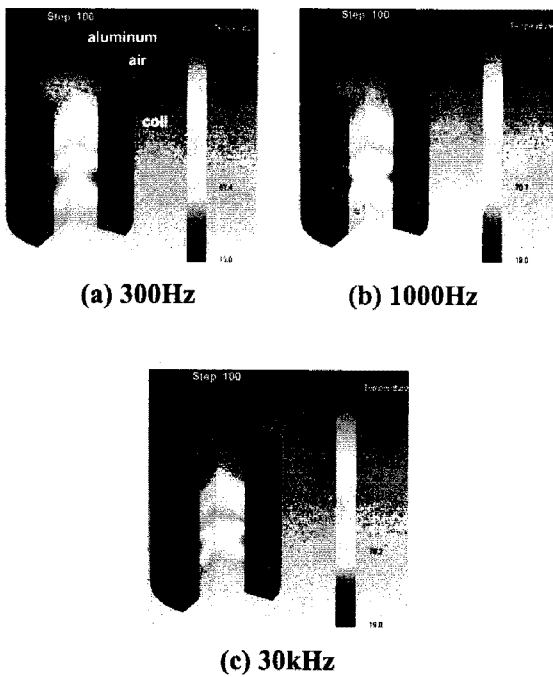
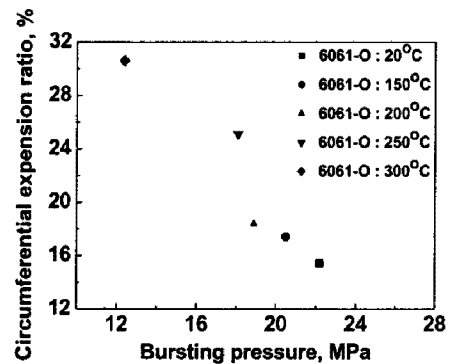


Fig. 4 Temperature distribution of Aluminum rod according to the induction heating frequency

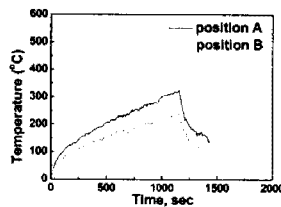
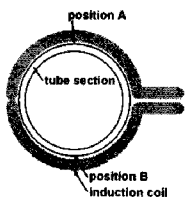


(a) 20°C 150°C 200°C 250°C 300°C

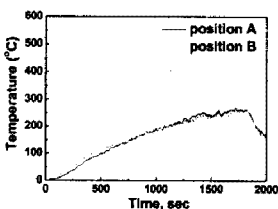


(b) Circumferential expansion ratio

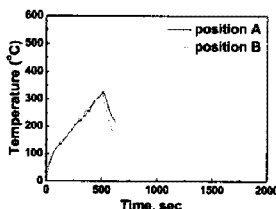
Fig. 6 Circumferential expansion ratio and bursting pressure for fully annealed 6061 tube at various temperatures



(a) induction heating



(b) heating element



(c) combined heating

Fig. 5 Temperature variation in a tube specimen after heating

방향으로 전류가 흐르는데 이를 와전류라고 한다. 이 와전류는 표면에 가까울수록 많이 흐르게 되며(표피효과), 이 와전류에 의한 금속의 전기저항으로 열이 발생하게 되는데, 이 와전류 밀도는

금속 내부로 갈수록 지수함수적으로 감소하며, 또한 그 경향은 주파수가 높을수록 급격히 감소된다. 이러한 전류의 표피효과의 정도를 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다. δ_f 는 전류의 침투깊이이며, 식에서 알 수 있듯이 가열물의 크기에 관계없이 금속 고유의 물성치인 AA6061 관재의 전기저항률 $\rho_o (=0.04 \mu\Omega m)$ [2]와 비투자율 $\mu (=4\pi * 10^{-7} H/m)$ [3]로 결정된다. 주파수가 높게 되면 침투깊이가 작게 되어 전류의 표피 효과가 현저히 나타나게 되는데, 계산상 침투깊이가 관재의 두께인 5mm 이내에 전류가 집중되기 위해서는 주파수가 30kHz 이상이 필요하다. Fig. 4는 유도가열 공정을 전자기 열전달 해석을 수행한 것으로 주파수의 값에 따른 알루미늄 소재 내부에 발생하는 전기저항열로 인한 온도 분포를 나타낸 것이다. 코일의 치수는 5.53mm x 5.53mm 인 단면을 가지며, 알루미늄 환봉의 경우 1/4 단면으로 반경 25.4mm, 길이 117.5mm 이다. 주파수를 각각 300, 1000, 30000Hz, 소비 전력

0.75kW, 대기로의 대류 열전달계수는 0.02N/sec mm °C로 적용하였다. 아울러 대기를 포함한 모든 개체들은 FEM 메쉬(mesh)로 구성하였다. 해석 결과를 보면, 주파수가 증가할수록 반경방향의 두께 방향 온도 분포가 불균일한 것을 알 수 있으며, 그 결과로 표면부와 내부의 온도가 가장 컸다. 해석 결과에서도 알 수 있듯이 관재를 고주파 유도가열 장치로 가열시 전류를 표면에 집중시켜 높은 효율로 가열시킬 수 있음을 확인하였다.

3. 실험결과

3.1 온간 성형성 평가

알루미늄 온간 하이드로포밍 성형성은 온도에 따른 원주방향 확장량을 측정하여 비교, 분석하였다. 사용된 소재는 AA6061 미열처리 압출 관재로 외경 50.8mm, 두께 5mm 이다. 가열시 설정온도는 각각 200°C, 250°C, 300°C인 경우 대기로의 열손실, 금형으로의 열전도로 인해 실제 하이드로포밍 성형시 각각 182~154°C, 226~193°C, 290~240°C로 온도 저감이 일어나면서 성형된다.[4] Fig. 5는 각각 관재 상하부의 가열과 냉각시의 온도 변화를 나타낸 것으로 유도가열 장치로만 가열시켰을 경우, 측정부위별 온도 차이가 생기게 되었으며, 반대로 가열 카트리지로만 이용했을 경우 관재가 균일하게 가열된 반면 설정 온도까지의 가열시간이 길었다. Fig. 5(c)와 같이 두 장치를 함께 사용한 경우 측정 부위별 온도 차이를 최소화하면서 빠른 시간에 가열시킬 수 있었다. Fig. 6은 축방향 압입량을 0으로 하고 내부압력만을 증가시켰을 때의 파단압력과 원주방향 확장량을 나타낸 것으로, 설정온도가 올라감에 따라 파단압력은 감소되며, 성형성은 향상되었는데, 특히 설정온도 250°C이상에서 비약적으로 증가하였다. 결과적으로 본 온간 하이드로포밍 장치로 9분 이내로 금형 내의 부과적인 단열 장치없이 300°C 이상 설정온도까지 가열시킬 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 온간하이드로포밍 성형 장치의 최적화를 통해 빠른 시간에 설정온도까지 가열시키는 장치를 개발하였고, 다음과 같은 결론을 맺었다.

1. 유도가열의 전자기 열전달 성형해석을 통해 가열 에너지 손실을 최소화시킬 수 있는 장치 사양을 검토하기 위해 주파수와 가열 소재의 온도 분포의 상관관계를 분석하였으며, 위의 결과를 통해 적용 관재의 최적의 주파수를 확인하였다.
2. 유도가열 장치 외에 부가적인 가열 카트리지를 사용하여 관재의 위치별 온도 차이를 줄이고 가열 속도를 높였다.
3. 제안된 유도가열 히팅 시스템을 실제 온간 하이드로포밍 성형에 적용시 알루미늄 관재의 성형성이 개선시킴과 동시에, 공정 시간을 현저히 줄였다.

참고 문헌

- [1] Topker Dieter, Grussmann Elmar, Fritz Andreas, 2004, Method for hydroforming a hollow workpiece, European Patent, EP1063029B1
- [2] Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, 1990, Properties and Selection, Metals Handbook, ASM International, Vol. 2, pp. 164~166.
- [3] E. J. Davies, 1990, Conduction and induction Heating(Peter Peregrinus Ltd.), pp.164~179.
- [4] B. J. Kim, K. S. Park, J. S. Ryu, Y. H. Moon, 2005, Experimental Analysis for the Tubular Hydroformability of Aluminum Alloys at Elevated Temperatures, Materials Science Forum, Vol. 475~479, pp. 4215~4218