

로드셀을 이용한 STS304 박판용접부의 구속력 측정에 관한 연구

고준빈* · 최원두* · 이성구** · 박성두*** · 이영호****

*충남대학교 대학원 기계공학과

**홍성기능대학 산업설비과

***천안공업대학 디지털용접과

****충남대학교 기계공학과

A Study on the Measurement of Constraint Force of STS304 Thin Plate Using the Load Cell

Joon-Bean Ko*, Won-Doo Choi*, Sung-Gu Lee**, Sung-Du Park*** and Young-Ho Lee****

*Graduate School of Mechanical Engineering, Chungnam National University, Teajon 305-764, Korea

**Dept. of Industry Installation, Hongsung Polytechnic College, Hongsung 350-703, Korea

***Dept. of Digital Welding Technology, Chonan National Technical College, Chonan 330-242, Korea

****School of Mechanical Engineering, Chungnam University, Teajon 305-764, Korea

Abstract

The restraint force is required an accurate measurement and analysis to protect weldment from residual stress. Also, this residual stress caused by cracks in weldments are often observed in the weldments of large size nozzles or radial tanks after welding. This paper is preformed on the study of evaluation of welding restraint forces using load cell with STS thin plate which are using pressure vessel steel in the industry field.

As a result of this study, as the welding currents are higher and the welding speeds are more slowly, the magnitude of restraint force in process of the flat plate welding shows to be more large. Also, the temperature in process of melting is increasingly rising, then the restraint forces exhibit the compressive forces, whereas the restraint forces during cooling represent extensional force.

(Received August 6, 2001)

Key Words : Restraint force, Strain gauge, TIG welding, Load cell, Thin plate welding

1. 서 론

용접은 결합하는 재료들이 국부적으로 용해, 응고함으로써 결합되는 금속학적 현상이다. 용접부의 조직과 성능은 모재와 용접재료의 화학성분, 용접방법, 용접조건 등에 의해 결정되지만, 공통적인 현상으로 박판의 용접시 불규칙한 온도 분포로 인하여 비선형적인 변형이 발생하고, 이로 인하여 용접부의 결합을 야기시킨다. 용접시 발생하는 구속력의 측정은 이러한 불균일한 용접변형을 이해하기 위한 기본적인 방법이다^{1,2)}. 또한 구속력은 용접 후 발생하는 잔류응력에 많은 영향을 주는 것으로 알려져 있기 때문에 정확한 구속

력의 측정과 해석이 필요한 실정이다³⁾.

대형 노즐이나 구형 탱크의 원주 용접부 혹은 대형 압력용기의 용접부 등과 같이 자체 구속력이 높은 용접부에서는 모재의 조성과 다양한 용접 조건을 제어하여 용접을 실행하여도 균열은 빈번하게 관찰된다⁴⁾. 이는 실제 구조물의 용접부에 작용하는 구속 응력에 대한 평가가 미흡하기 때문이다. 지금까지 용접부에 작용하는 구속력을 계산하는 방법은 많이 보고되어 있으나⁵⁾, 이는 용착부의 중앙부에 작용하는 것으로 실제 열영향부의 균열에는 적용할 수 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 구속력에 대한 정량적인 평가를 위하여 로드셀(load cell)을 이용한 구속력 측정 장치를 제작하고, 압력용기로 많이 사용되는 STS 304 박

판을 구속하여 용접하였을 때의 구속력을 측정하였다.

2. 실험재료 및 실험방법

2.1 실험재료 및 용접조건

본 연구에 사용된 재료는 일반적인 열처리 온도에서 오스테나이트 조직으로서 내식성뿐만 아니라 고온 및 극저온에서도 성능이 우수하여 적용범위가 매우 넓은 STS304를 사용하였다. 시편의 두께는 3mm이고, 크기는 300mm×120mm이다. 이를 절단하는 과정에서 발생한 굽힘에 의하여 구속력에 영향을 주기 때문에 판의 평형을 위하여 유압기를 사용하였다.

용접은 7.9kW TIG 용접기를 사용하였고, 용접조건⁶⁾은 Table 1에 나타나 있다.

Table 1 Welding parameters

Diameter of electrode(mm)	2.3		
Distance of electrode(mm)	3		
Pressure of Ar gas(kgf/cm ²)	15		
Angle of touch(°)	90°		
Welding speed(cm/min)	2.5	3.0	3.5
Welding current(A)	180 200 220	180 200 220	180 200 220

2.2 로드셀 제작

구속력을 측정하기 위하여 스트레인 게이지(strain gauge)⁷⁾를 이용한 로드셀(load cell)을 제작하였다.

순수 굽힘력(pure bending)과 순수 인장력(pure tension)을 측정하기 위하여 스트레인 게이지를 Fig. 1, Fig. 2와 같이 구성하였다.

출력을 최대로 하기 위하여 Full-bridge 회로⁸⁾를 사용하였고, 각각의 출력 전압은 식(1), 식(2)와 같다.

$$e_o = F \cdot \epsilon \cdot e \tag{1}$$

$$e_o = \frac{1}{2} \cdot F \cdot \epsilon (1 + \nu) \cdot e \tag{2}$$

여기서, ϵ 은 순수 굽힘력과 인장력에 의한 스트레인을 나타내고, ν 는 포와송 비를 나타낸다.

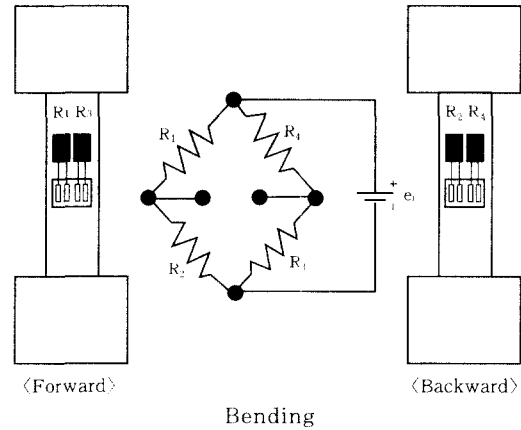


Fig. 1 Bridge circuit organization drawing for measuring bending force

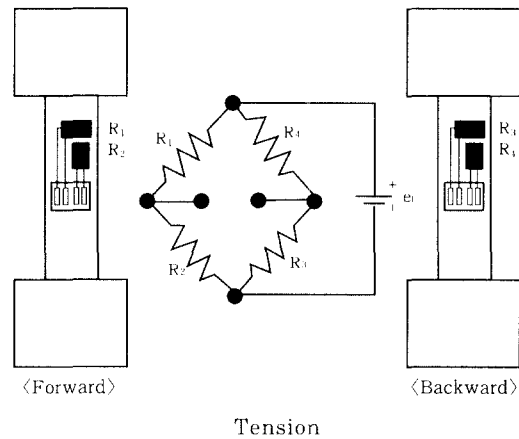


Fig. 2 Bridge circuit organization drawing for measuring tension force

2.3 구속력 측정장치 제작

평판 용접시 실시간으로 구속력을 측정하기 위하여 Fig. 3, Fig. 4와 같은 용접 시스템을 구성하였다. 각각의 로드셀은 용접의 시작점과 끝점에서 내부로 60mm 떨어진 지점에 설치하였고, 비드에 수직인 방향으로 중양에서 100mm 지점에 설치하였다. 또한 용접을 균일하게 하고, 정량적인 이동속도를 얻기 위하여 자동 이송장치에 용접전극을 체결하였다.

2.4 구속력 측정

용접방향에서 가까운 부분을 전방으로 뒤쪽을 후방으로 하여 용접전류의 변화를 주면서 일정속도로 용접을 진행해 가면서 전방과 후방의 인장력과 굽힘력의 변화를 측정하였다. 구속력은 가접의 유무에 따라 상당한 영향을 받는데 예비실험에서 가접을 하지 않았을 경우 일정한 측정값이 불규칙하여 가접을 하였다. 가

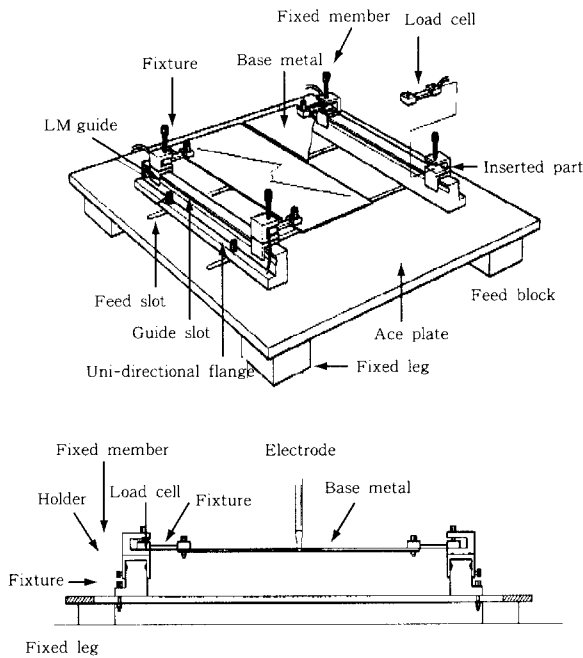


Fig. 3 Schematic drawing of experimental device

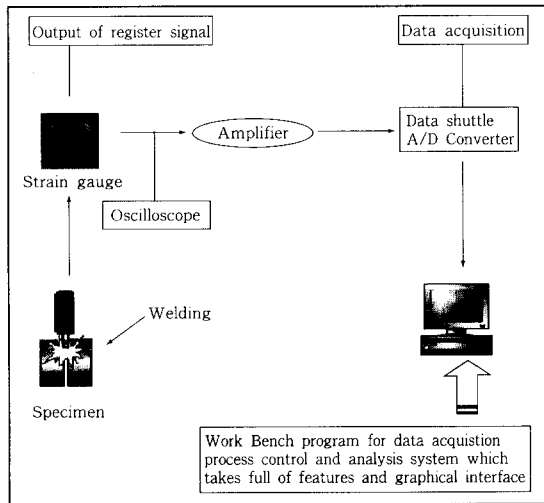


Fig. 4 Procedure for measuring the restraint force

접의 위치는 용접의 시작점, 끝점, 중앙에 실시하였다.

용접을 하기 전에 시편을 로드셀에 고정시킬 때 불균 일한 힘은 출력에 영향을 미치므로 토오크 제한형 렌치를 이용하여 일정한 힘으로 체결하였다. 또한 용접시 로드셀과 모재에서 전달되는 열의 영향을 최소화하기 위하여 로드셀과 모재 사이에 절연재를 삽입하였다.

각 조건으로 용접을 실시하게 되면 용접열에 의하여 모재에 변형이 발생하고, 이러한 변형에 해당되는 응력은 스트레인 게이지에 전압의 변화를 가져온다. 이렇게 발생된 전압은 Dynamic Amplifier에 의해 증폭되고, A/D 변환을 통하여 컴퓨터에 수집된다. Fig. 4는 이러

한 일련의 과정을 나타내고 있다.

3. 구속력 측정 결과

3.1 용접속도, 전류에 따른 전방 인장력 특성

Fig. 5~Fig. 7은 용접속도와 용접전류의 변화에 따른 전방의 인장구속력 변화를 보여주고 있다. 전방의 인장구속력은 용접부가 용융되면서 팽창시키지만 주변 모재의 구속에 의한 힘이 상대적으로 크므로 팽창에 따른 압축의 구속력은 작게 나타나고, 용접의 진행에 따라 용융되었던 모재가 응고를 하면서 인장구속력으로 전환을 한다. 이는 압축구속력에 비해 더 큰 값으로 나타나는데⁹⁾, 그 이유는 용융부의 강성은 주변의 모재에 비해 작기 때문에 용융부가 팽창하여도 모재에는 큰 압축력을 주지 못하나, 응고하면서 강성이 커지기 때문에 모재에 큰 인장구속력을 발생시킨다. 또한 용접이 모재의 중앙부까지 진행된 후 구속력

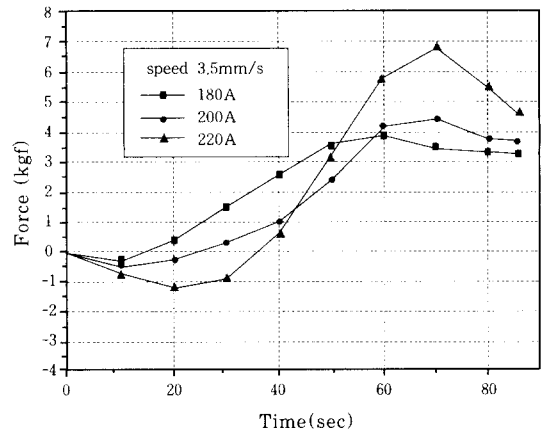


Fig. 5 Forward tension force on various welding currents at welding speed 3.5mm/s

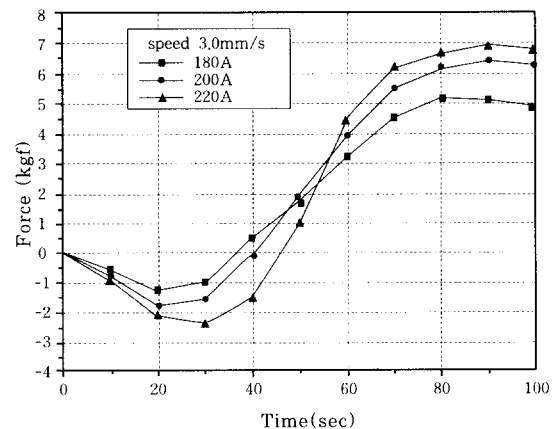


Fig. 6 Forward tension force on various welding currents at welding speed 3.0mm/s

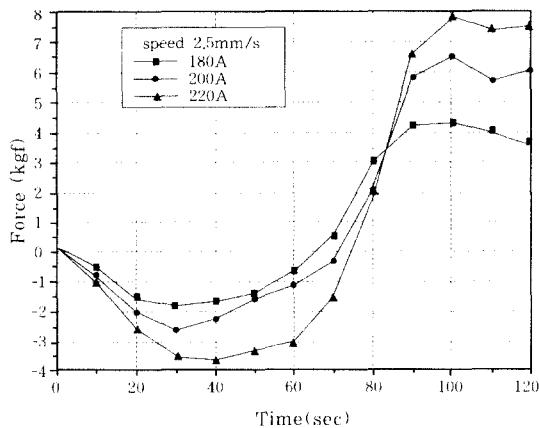


Fig. 7 Forward tension force on various welding currents at welding speed 2.5mm/s

의 크기는 용접속도와 용접전류가 각각 3.5mm/s, 180A일 때 다른 두 용접조건에 비해 작은 인장력을 가지고 있으며 전체적인 변화량도 작아 완만한 형태를 보이고 있다. 이는 모재의 용융과 냉각과정이 짧기 때문이다. 속도가 2.5mm/s, 용접전류가 220A의 경우에는 다른 두 조건에 비해 압축력을 받는 시간이 길게 나타나고 있다. 이것은 모재의 용융이 큰 입열에 의해 장시간 용융상태로 팽창을 하므로 모재에 압축의 영향을 많이 주고 있으며^{10,11)}, 상대적으로 다른 용접조건에 비해 비드의 폭도 더 넓게 나타난다. 이에 따라 인장으로의 전환은 더욱 급격하게 나타나고 다른 조건에 비해 그 값도 크게 나타나고 있다. 결과적으로 모재의 용융시 팽창과 압축이 적절하게 이루어지는 200A의 경우에는 세 가지 속도의 경우에 용접이 용이하게 이루어짐을 예측할 수가 있고, 용접전류가 180A, 3.5mm/s의 경우에는 입열량이 약간 부족하여 일정한 백 비드가 형성되지 않으며, 220A, 2.5mm/s의 경우에는 용접의 입열이 과다하여 비드가 넓고, 비드부가 약간 오목한 형상을 나타내고 있다.

3.2 로드셀 제작

Fig. 8~Fig. 10은 용접속도에 대하여 각각 용접전류의 변화에 따른 후방의 인장력을 보여주고 있다. 용접 초기에 후방 인장력은 용접열원이 거리가 먼 전방에 있으므로 완만한 변화를 갖는다. 전방의 용접부가 팽창하면 상대적으로 회전에 의한 힘으로 작은 인장 구속력이 발생한다. 용접이 중앙부까지 진행되었을 때, 전체적으로 인장에서 압축으로 전환되고 있음을 보여주고 있다. 속도가 가장 빠른 3.5mm/s인 경우에는 용접전류가 180A인 경우를 제외하고는 압축으로의 전환이 막 시작되는 시점이 되고 있다. 속도가

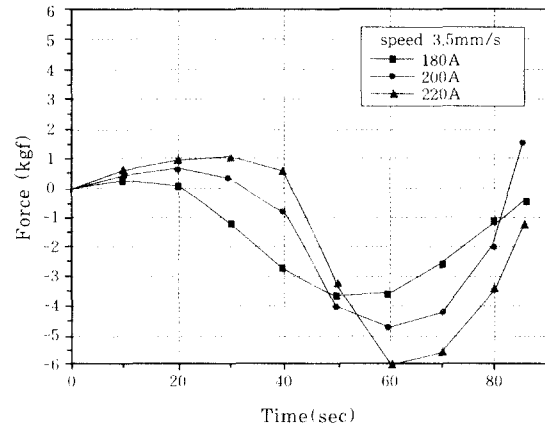


Fig. 8 Backward tension force on various welding currents at welding speed 3.5mm/s

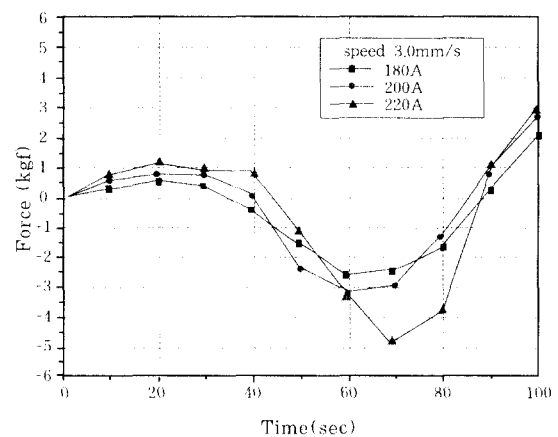


Fig. 9 Backward tension force on various welding currents at welding speed 3.0mm/s

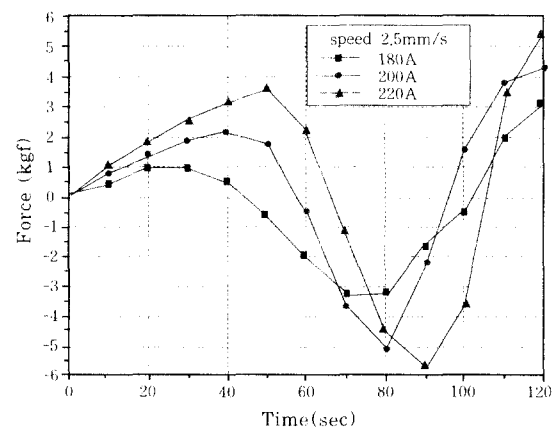


Fig. 10 Backward tension force on various welding currents at welding speed 2.5mm/s

3.0mm/s인 경우에는 일반적인 경향은 거의 유사하고 크기에서만 약간의 차이가 있다. 속도가 가장 느린 2.5mm/s인 경우에는 220A의 경우 전방부의 용융이 전방부의 인장력에 나타나듯이 용융이 오랜 시간 지속이 되므로, 회전에 의한 인장의 구속력도 길고,

그 변화량도 크게 나타나고 있다. 후방의 인장구속력은 전방에 비해 압축의 구속력이 급격하고 그 크기도 크게 나타나는데, 이는 전방의 응고에 의해 수축이 나타나고, 동시에 후방부는 용융에 의한 팽창이 나타나기 때문이다. 또한, 인장으로의 전환도 급격하게 이루어지는데 이는 후방부도 응고가 진행되면서 전방에서의 응고에 의한 수축력이 더해지기 때문으로 사료되어진다. 전방에 비해 후방부의 인장구속력의 특징은 용접진행의 전방부가 완만한 변화를 가지는 반면 후방부로 접어들면서는 전방부에서의 변화에 비해 급격한 변화를 갖는다. 이는 용접에 있어서 전방부에서의 변화는 후방의 용접부가 구속상태가 아니지만, 후방에서의 변화는 전방의 용접부가 용접이 되어 구속되어 있기 때문이다. 또한 용접 종료 후의 구속력의 변화는 용접 종료시의 응력 크기에서 조금씩 감소하다가 일정한 값으로 수렴할 것으로 사료된다.

3.3 용접속도, 전류에 따른 전방 굽힘력 특성

Fig. 11~Fig. 13은 각각 용접전류의 변화에 따른 전방의 굽힘 구속력의 특성을 보여주고 있다. 전체적인 구속력의 형태는 아크의 발생과 보호가스의 주입에 의한 힘 및 중력에 의해 모재가 용융되면 모재는 아래 방향으로 처지고, 응고하면서 모재가 윗방향으로 변형하는 형상을 보이고 있다. 속도가 3.5mm/s의 경우에는 전체적으로 유사한 형태가 나타나고 있으나, 특히 180A의 경우에는 굴곡이 거의 없는 밋밋한 형태를 나타내고 있음을 볼 수 있다. 속도가 3.0mm/s의 경우에는 200A와 220A의 경우 상당히 유사하고 그 크기도 비슷하나 180A의 경우는 모양은 유사하지만 그 크기가 상당히 작게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 속도가 3.5mm/s이고, 전류가 220A일 경우 다른 조건들

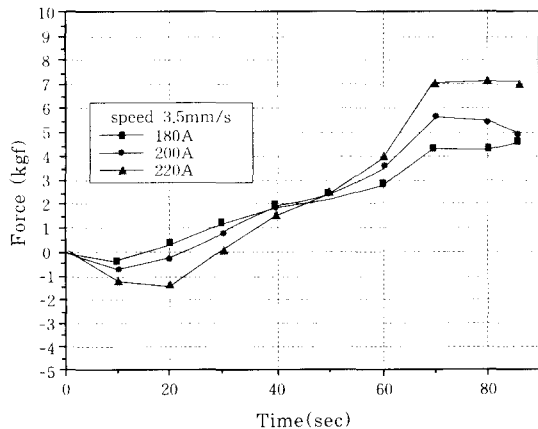


Fig. 11 Forward bending force on various welding currents at welding speed 3.5mm/s

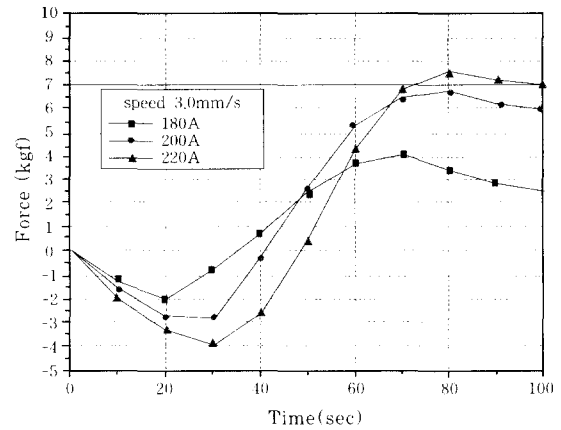


Fig. 12 Forward bending force on various welding currents at welding speed 3.0mm/s

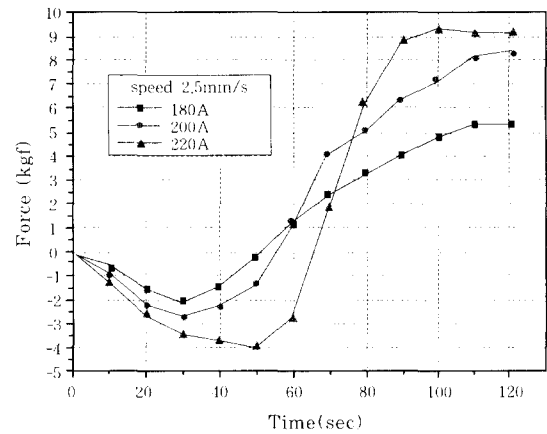


Fig. 13 Forward bending force on various welding currents at welding speed 2.5mm/s

에 비해 변화가 상당히 급격하고 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 용접이 중앙부까지 진행된 상태를 살펴보면 전체적으로 약간 윗방향으로 구속력이 나타나고 있다. 굽힘의 구속력이 위쪽의 방향을 보이는 것은 열원의 위치가 위쪽에 있으므로 아래쪽에서 위쪽으로 응고가 진행되어 모재 전체가 위쪽 방향으로 들려 올려지기 때문이다.

3.4 용접속도, 전류에 따른 후방 굽힘력 특성

Fig. 14~Fig. 16은 용접전류의 변화에 따른 후방의 굽힘 구속력의 거동형태를 보여주고 있다. 후방의 굽힘력의 형태는 초기에는 천천히 아래의 방향으로 처짐을 시작하고 어느 시점에서 초기보다 급격한 처짐의 형태를 보이다가 다시 상방향으로의 전환을 보인다. 또한 용접이 종료하는 시점에서는 위쪽방향으로의 거동을 보이고 있다. 속도가 빠른 3.5mm/s의 경우에는 용융이 단시간에 이루어지고 바로 응고가 시작하므로

아래쪽으로는 처짐은 작게 나타나게 되고, 따라서 전체적인 곡선이 완만한 형태를 나타내고 있다. 속도가 3.0mm/s의 경우에는 전반부에서는 200A와 220A의 구속력의 형태가 유사하고 후방부는 180A와 200A의 변화의 형태가 유사하게 나타난다. 즉 200A의 경우 전방의 변화가 후방에 미치는 영향은 220A의 경우와 유사하나 자체가 변화하는 힘은 180A와 유사한 경향을 나타내고 있음을 알 수가 있다. 속도가 2.5mm/s의 경우에는 유사한 경향을 나타내고 있으나 220A의 경우에는 매우 급격한 변화를 보이고 있다. 후방의 인장력은 전방의 인장구속력에 의해 초기에 서로 반대의 방향으로 나타난다. 하지만 후방의 굽힘력은 초기에는 전방의 구속력과 같은 방향으로 더 작은 값의 변화를 보이기 시작해 전방의 굽힘 구속력이 상방향으로 변화하는 동안 급격한 하향방향으로의 구속력을 갖으며, 전방의 굽힘 구속력이 안정되어 가는 지점에서 급격하게 상방향으로 전환한다. 또한 전방의 굽힘 구속력의 변화하는 기울기에 비해 더 급격한 변화의 과정을 거

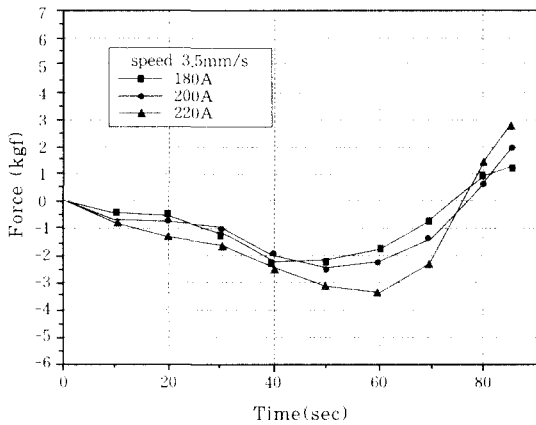


Fig. 14 Backward bending force on various welding currents at welding speed 3.5mm/s

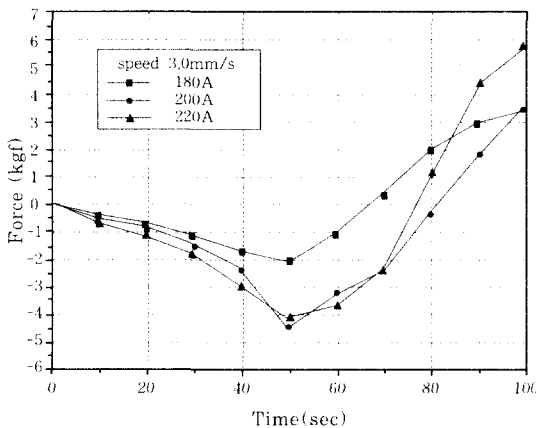


Fig. 15 Backward bending force on various welding currents at welding speed 3.0mm/s

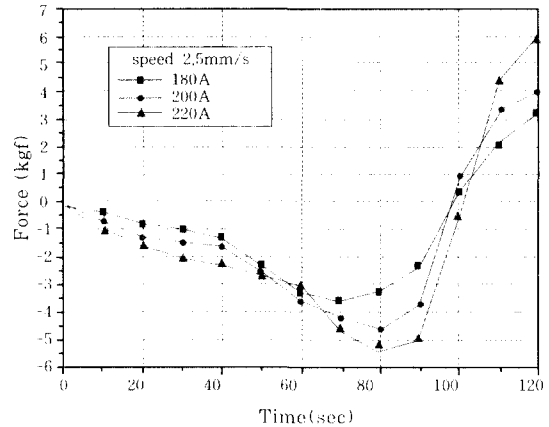


Fig. 16 Backward bending force on various welding currents at welding speed 2.5mm/s

치는 특징을 지니고 있다. 전방에서의 상방향으로의 굽힘의 영향을 받아 더 급격한 변화를 갖고 있으나, 전방의 굽힘구속력에 비해 전체적인 굽힘 구속력의 크기는 더 작게 나타나고 있다. 이는 전방의 굽힘 구속력은 계속적으로 후방 굽힘 구속력의 영향이 나타남을 알 수 있다. 또한, 용접의 진행에 따라 중앙부에서는 전,후의 구속력이 반대로 나타나므로 비틀림에 의한 힘도 간접적으로 확인되고 있다.

4. 결 언

본 연구에서는 스트레인 게이지형 로드셀을 이용하여 구축한 평판 용접 시스템을 이용하여 용접시 발생하는 구속력을 측정할 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 본 연구에서 구축한 스트레인 게이지형 로드셀의 평판 용접시스템은 효율적으로 인장 및 굽힘 구속력을 측정할 수 있었다.
- 2) 구속력의 크기는 용접전류가 높고, 속도가 느릴수록 높게 나타나며, 변화의 기울기 폭이 점차 확대되었다.
- 3) 용접시 온도가 상승함에 따라 압축 구속력을 나타내며, 반대로 냉각과정에서는 인장의 구속력을 나타낸다.
- 4) 굽힘 구속력의 경우 온도 상승 과정에서는 하 방향으로의 굽힘 구속력을 나타내며 냉각의 과정에서는 상 방향으로의 굽힘 구속력을 나타낸다.

참 고 문 헌

1. 이종섭, 김숙환 : 오스테나이트계 스테인리스강 용접부의 금속학적 현상에 관한 연구(2), 대한용접학회, 18-1(2000), 59-

- 69
2. 배강열, 최태완 : 판재의 비드 용접에서 구속 경계조건을 적용한 열응력 및 각 변형 해석, 대한용접학회, 17-1(1999), 50-61
 3. 寺崎俊夫 : 構造用 材料の 溶接残留應力, 溶接變形 および 溶接 條件の 影響に 關する 研究, 大阪大, 博士學位論文(1976)
 4. Koichi Masubuchi : Analysis of Welded Structure, Pergamon Press(1980)
 5. K. Satoh and S. Matsui : Effect of Welding Condition on Welding Deformation in Welded Structural Materials : Japan welding Society(1967), 1096-1109
 6. V. P. Kujanpaa : Weld defects in austenite stain- less steel sheet-effect of welding parameters, Welding Journal(1985), 129
 7. 한응교 : 스트레인 게이지 이론과 응용, 보성문화사 (1987), 144-154
 8. M. F. W. Distelhoff, J. Laker, A. J. Maquis and J. M. Nouri : The application of a impellers, Experiments in Fluids 20(1995), 56-58
 9. Gothongkum, P. Chaumbai and P. Bhandhubanyong : pulse welding of 304L austenitic stainless steel in flat, vertical and overhead positions, Journal of Materials Processing Technology 89-90(1999), 410-414
 10. J. A. Davidson : A Review of the fatigue Pro- perties of Spot-Welded Sheet Steels, SAE(1983), 88-330
 11. 강성수 : 이종 점용접재의 피로거동에 관한 실험적 연구, 경북대학교 박사학위논문(1989)