

유도초음파를 이용한 아연도금 강판의 점용접 품질평가

The Quality Evaluation on Resistance Spot Welding of Zinc Coated Steel Using Guided Wave

이상용*, 박익근*, 이철구*, 박은수*, 김덕희*, 안형근**

* 서울산업대학교 비파괴평가기술연구센터, ** 세안기술(주)기술연구소

1. 서론

판파(plate wave) 또는, 램파(Lamb wave)라고 불리는 유도초음파는 기존의 벌크(bulk)파인 종파(longitudinal wave)나 횡파(shear wave)에 비해 상대적으로 효율성과 결함검출 민감도가 뛰어난 새로운 형태의 초음파로서 박판의 내부개재물 탐상에 광범위하게 적용되고 있다. 유도초음파는 얇은 탄성층을 진행할 수 있는 능력을 가진 탄성파의 한 형태로 적용되어진다.[1-2] 박판이나 관구조물내의 유도초음파는 주파수, 구조물의 두께, 입사각도에 따라 서로 다른 입자 움직임을 갖는 다양한 모드가 존재하며, 그 진행방향이 구조물의 길이 방향으로 유도되는 특성을 갖고 있다. 유도초음파의 장점은 무엇보다도 벌크파를 이용한 국부검사법보다 광범위 검사라는 점과 주파수, 판재두께 그리고 입사각도에 따라 두께방향으로 서로 다른 입자움직임을 갖는 다양한 모드들을 이용해 탐상 민감도를 향상시킬 수 있다는 점이다.[3]

본 연구에서는 점용접의 접합상태를 비파괴적 평가방법인 유도초음파를 이용 접합계면에서 발생하는 점용접부위의 너겟 형상과, 보이드(void) 결함 등의 정량적 평가와 코로나본드(corona bond)의 정확한 식별 등에 관한 기초적인 실험적 검토를 하였다. 유도초음파시험 후 용접시험편을 절단하고 그 절단면을 광학현미경의 단면 관찰에 의한 측정결과와 확인 비교하였다.[4]

2. 관련 이론

2.1 유도초음파의 원리와 분산성

유도초음파는 박판, 원통 및 구형과 같은 자유경계면(free boundaries)을 가지는 시험체 내로 진행하며, 시험체의 전두계를 통하여 진행되는 복잡한 진동형태로 구성되어 있다. Fig. 1은 굴절각이 90°일 때, 박판내 외벽으로부터 반사된, 여러 종파 및 횡파형 초음파의 상호 간섭에 의해 유도초음파가 발생되어 박판의 내·외면에 평행하게 길이방향으로 진행됨을 보여주고 있다.

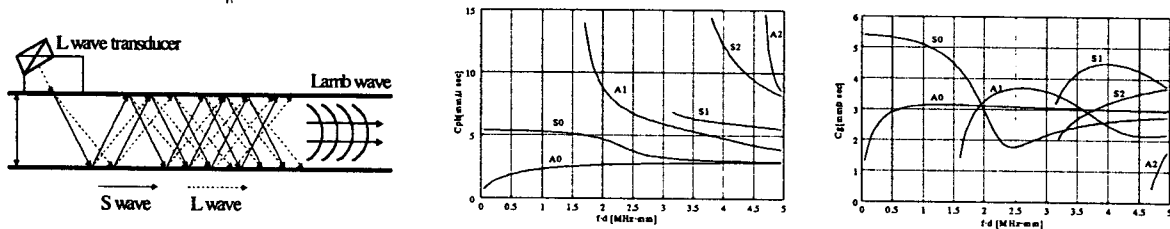


Fig. 1 Oblique incidence method for the generation Figs. 2, 3 Dispersion curve for steel(phase, group velocity)

2.2 위상속도와 군속도

Fig. 2와 Fig. 3은 강(steel)의 분산 곡선을 보여주고 있다. 여기에서 종파속도와 횡파속도는 각각 $c_1=5900\text{m/s}$, $c_2=3230\text{m/s}$ 로 측정된다. 대칭모드는 S_0, S_1, S_2 이고 비대칭모드는 A_0, A_1, A_2 이다. 그리고 $f \cdot d$ (f : frequency, d : thickness)가 증가함에 따라 모드의 발생이 증가하며, 동일한 위상속도로 접근하려는 경향이 있다. Fig. 3과 Fig. 4에서 모든 $f \cdot d$ 에 대해서 적어도 두 모드가 존재하는 것을 알 수 있으며 모드의 수는 $f \cdot d$ 값이 증가함에 따라 증가한다. 시험체의 각 형상에 따라서 램파의 모드는 위상속도(phase velocity)로부터 정의된다. 얇은 판 등에 있어서 램파의 위상속도는 무차원형태로 특성방정식의 수치해로 계산할 수 있다. 초음파의 펄스가 파의 발생을 위해 사용되었을 때 군속도(group velocity)가 위상속도 대신에 측정된다. 웨지(wedge)의 입사각은 플라스틱 웨지의 종파속도, 시험편 두께 및 탐촉자 주파수에 대한 위상속도로부터 스넬의 법칙(snell's law)에 의해 계산된다.

3. 실험 방법

본 실험에 사용한 용접시험편은 현재 내식성과 용접성이 우수한 판두께 0.8mm의 용융아연도금강판(galvanized steel)을 100×25×0.8mm인 시편으로 가공 후, (주)조흥전기의 75kVA 용량인 공기압 작동식(ASP-75) 점용접기를 사용 시험편 끝을 25mm씩 맞대어 그 중앙에 점용접을 시행하였다. 사용한 전극팁은 D형으로 선단경이 6mm인 Al_2O_3 을 사용하였다. 용접 조건은 Table 1.에 시험편 형상은 Fig. 4에 나타내었으며, 용접조건을 Table 1.과 같이 용접전류의 변화를 선택한 이유는 발열량이 전류의 제곱 또는 전류밀도의 제곱에 비례하여 너겟 형성에 가장 큰 영향을 미치기 때문이며, 너겟의 크기가 유도초음파의 전달량에 영향을 미치는 것을 고려한 것이다.[5]

Welding Current (kA)	Time (cycle)	Pressure (kgf)
5	11	235(kgf)
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

Table 1. The condition of Spot Welding

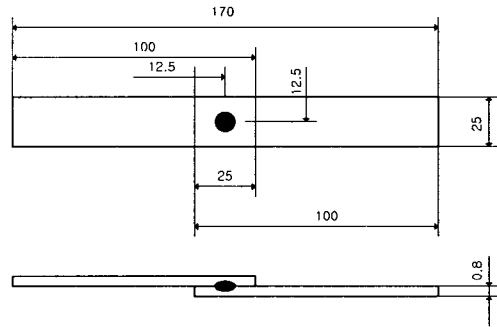


Fig. 4 Tensile shear test specimen

용접 조건에 따른 용접부의 인장하중을 측정하기 위하여 영국에서 제작된 인장시험기(Nistron-4467)를 사용하였으며, 인장전단속도는 2mm/min으로 하였다. 용접부의 너겟 형상을 관찰하기 위해서 세로로 절단한 후 Nital용액으로 수초간 부식한 후 광학현미경으로 조직을 관찰하였으며, 너겟의 크기는 세로로 절단한 시편의 중앙에서 너겟의 크기를 측정했다. 또한 TOSHIBA사의 300kvp X-Ray장비를 이용하여 너겟 부위의 결함과 너겟 지름을 평가하기 위하여 X-Ray 촬영을 하였다. 유도초음파시험은 Krautkramer사의 직경 18mm인 3.5MHz(실측주파수 3.1MHz) 탐촉자 2개와 유도초음파 모드를 발생시키기 위해 입사각 조절이 자유로운 가변각 웨지를 제작하여 입사각 35.로 초음파를 입사하여 실험을 행하였으며, 적절한 모드를 선택하기 위해서 스넬 법칙과 분산곡선을 이용하여 $f \cdot d$ 값이 2.4일 때, 위상속도는 4707m/s로서 S_0 모드를 선택하여 실험을 행하였다. Fig. 5, Fig. 6은 유도초음파를 발생시키기 위한 장치의 개략도와 지그의 형상을 보여주고 있다.

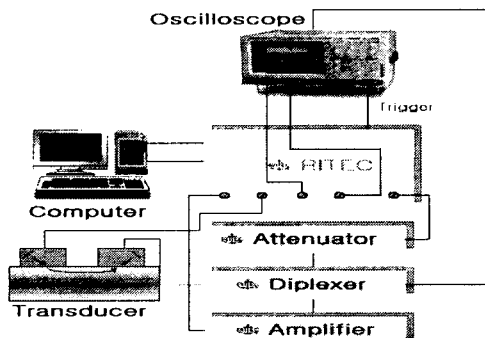


Fig. 5 Schematic diagram of the experimental set-up

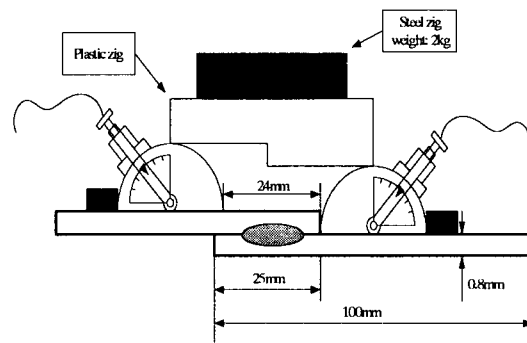


Fig. 6 Schematic diagram of the experimental Zig set-up

4. 실험결과 및 고찰

4.1 유도초음파의 파형과 X-ray 촬영

Fig. 8 유도초음파의 RMS 전압을 측정한 결과로 점용접부를 지나간 유도초음파의 파형 변화를 보여주고 있다. 이 그림을 통해 W6의 용접조건 이상에서 접합영역에 모재가 완전히 용융한 너겟이 형성된 것으로 판단되며, Fig. 8은 X-ray 촬영 결과로 전류가 높아질수록 과대전류에 의한 중간날림(expulsion)이 증가함을 알 수 있었다.

중간날림현상이 유도초음파의 산란 원인 중에 하나일 것으로 판단되어진다.

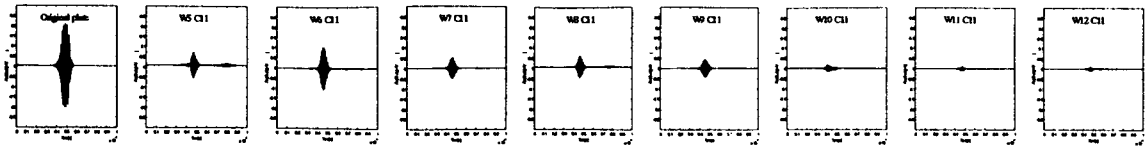


Fig. 7 Changes of waveform (W=welding current, C=welding cycle)

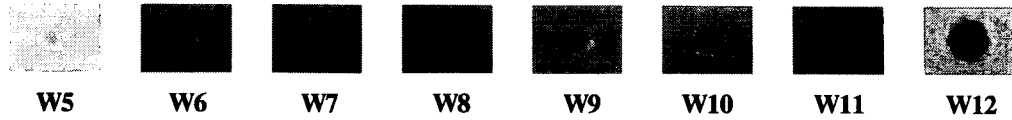


Fig. 8 X-ray pictures of spot weldment with welding current

4.2 미세조직 및 인장강도 변화

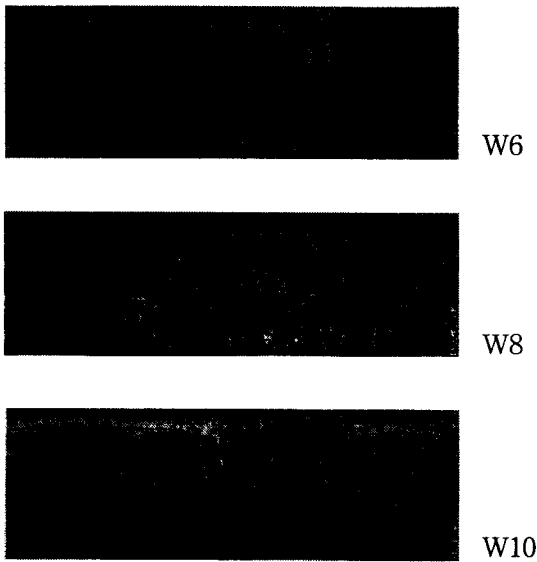


Fig. 9 Optical micrographs of the specimens(x50)

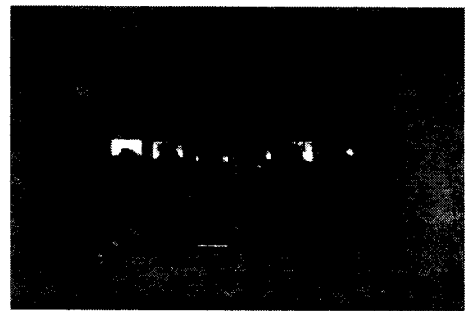


Fig. 10 Photo of specimens

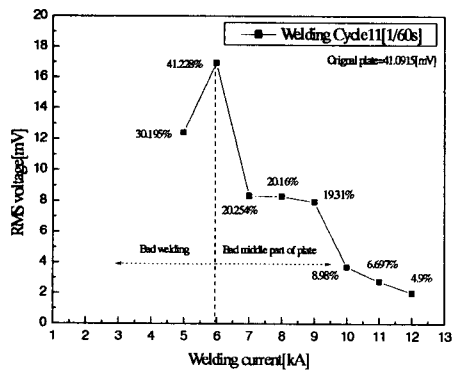


Fig. 11 Change of voltage(RMS)

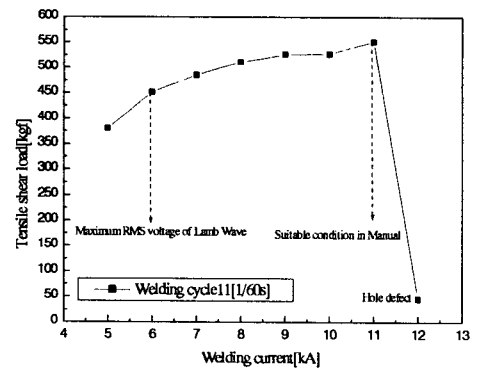


Fig. 12 Change of tensile shear load

Fig. 9는 광학현미경으로 용접부를 관찰한 것이며, 전류가 높아질수록 과대전류에 의한 보이드 및 중간날림이 증가함을 알 수 있었다. 이 또한 유도초음파의 산란 요인 중에 하나일 것으로 사료된다.

Fig. 10은 인장시험 후의 시험편 사진을 보여주고 있으며, 인장전단시험시 점용접 부위인 너겟 선단 열영향부에서 파괴가 일어남을 관찰 할 수 있었다. 낮은 전류에서는 굽힘이 일어나지 않은 상태에서 완전히 전단 파괴가 일어났으며, 완전히 용융하여 용접이 된 상태에서는 경화부와 비경화부에서의 응력집중에 의해 경계선상 근처가 가장 쉽게 파단됨을 알 수 있다. 또한 과대 전류에서는 전극팁의 오염도가 심해졌으며, 표면날림의 정도가 심하여 구멍이 생겨 용접이 이루어지지 않았다.[6] Fig. 11은 전류변화에 따른 유도초음파의 RMS 전압값의 변화를 보여주고 있으며, 용접하지 않은 0.8mm박판에 대한 각 용접부의 초음파 전달율을 %로 나타내었다. 이 그래프를 통해 시편과 시편사이의 상태가 좋은 전류를 선택할 수 있으며, 그 이하의 전류는 용접이 되었다고 볼 수 없고, 그 이상의 전류에서는 과대 전류로 인해 중간날림 현상이 점차 심하게 일어나며, 시편과 시편의 중간 부분의 상태가 좋지 않음을 확인 할 수 있다. Fig. 12는 전류가 증가함에 따라 인장전단하중이 증가함을 알 수 있다. 이는 전류의 크기가 증가함에 따라 접합(bond)부의 조직이 점차 강인화에 영향을 주는 미세구조로 변화하기 때문이라고 생각된다.[7]

5. 결 론

전류를 변화시킨 용접조건으로 0.8mm 아연도금강판의 점용접부를 유도초음파의 RMS 전압값과 X-ray 촬영, 절단면 관찰 및 인장전단하중 값을 실험적으로 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 아연도금강판의 경우, 유도초음파의 RMS 전압값과 인장전단시험을 통한 비교는 수치적으로 1:1 상관관계는 보이고 있지 않았다. 하지만, X-ray촬영과 조직사진으로 점용접부 내부의 void와 용접부의 중간날림(expulsion)을 확인할 수 있었으며, 이 두 결함으로부터 유도초음파의 RMS값은 저하하고 있으며, 과대전류의 용접상태를 확인할 수 있었다.
2. 유도초음파를 이용한 아연도금강판 점용접의 품질검사가 가능함을 실험적으로 검증하였다. 최적의 점용접부에 대하여 기준이 되는 RMS값을 부여하고, 이에 대한 음압 전달효율을 측정하면 점용접부의 품질검사가 가능할 것으로 사료된다.

6. 참고문헌

1. F. BENDEC, M. PERETZ and S. I. ROKHLIN : Ultrasonic Lamb wave method for sizing of spot welds, *ULTRASONICS*. MARCH, (1984), pp78-84
2. H. Lamb : The flexure of an elastic plate, *Proc. Lond. Math. Soc.*, Dec. (1989), pp. 85-90
3. Younho Cho, Derrick D. Hongerholt, and Joseph L. Rose : Lamb wave Scattering Analysis for Reflector Characterization, *IEEE Trans. Ultrasonic., Ferro. Freq. Cont.*, Vol. 44, No. 1, January, (1997), pp. 44-52
4. 박익근 : 초음파계측에 의한 SPOT용접품질의 비파괴평가, *大韓熔接學會誌* 第12卷 第3號, (1994) pp. 403-410
5. I. C. Kang : *Modern Welding Engineering*. (1997), 287 (in Korean)
6. 신현일, 강성수 : 고장력강판 및 2층아연도금된 고장력강판의 점용접성에 관한 연구, *大韓熔接學會誌* 第1卷 第1號, (1994) pp. 353
7. 임재규, 양승현, 국중하 : 점용접 간극이 용접성에 미치는 영향에 관한 연구, *大韓熔接學會誌* 第20卷 第1號, (2002) pp. 57
8. 박익근, 이철구 : 초음파SH사각탐상에 의한 박판의 결함검출능에 관한 실험적검증, *大韓熔接學會誌 '00춘계 학술발표회 논문집*(2000), pp. 279-282