

수치해석과 신경회로망을 이용한 레이저 스폿 용접부의 형상예측

Prediction of Laser Spot Weld Shape by Numerical Analysis and Neural Network

장원석*, 김석훈**, 홍성준***, 강형식***, 나석주*

*한국과학기술원 기계공학과, **원자력연구소, ***LG전자(주)

1. 서론

레이저 스폿용접은 두께가 다른 1mm이하의 박판의 미소접합에 매우 효율적인 공정으로 비접촉식 가열원을 이용하기 때문에 접합과정 중 기계적 변형이 없고, 레이저 빔을 국부가열원으로 하여 매우 좁은 부분에 제한적으로 열을 가할 수 있어서 강한 금속적 결합이 요구되는 소형 부품의 접합에 이용될 수 있다. 뿐만 아니라 공정변수들을 변화시켜 실제 접합부에 들어가는 입열량을 쉽게 제어 할 수 있다는 등 많은 장점들을 가지고 있다.¹⁾

본 연구에서는 1mm이하의 스테인레스 박판에 대한 레이저 스폿용접을 FDM과 신경회로망(Neural Network)을 이용하여 해석하고 용접부의 상판 비드크기, 너겟 크기, 용접부 깊이 등의 형상을 예측하였다. 또한 레이저 스폿용접에 있어서의 주요 변수인 펄스 에너지, 펄스 타임, 박판의 두께, 두 판사이의 간극 크기 등을 변화시켜 실험하고 수치해석 시뮬레이션(simulation)을 수행하여 검증하였으며 이러한 수치해석 시뮬레이션을 위하여 윈도우 프로그래밍을 개발하였다.

2. 수치해석

2.1 열유동 해석 모델링

본 연구에서는 Fig.1에서 나타낸 바와 같이 두께 1mm이하의 두장의 스테인레스 평판을 램 조인트로 하고 두 판사이에 간격은 없는 것으로 하며 용접부의 원주방향으로 열전달이 균일하다고 가정된 2차원(x-z plane)영역에서 해석을 시도하였다. 이때 열전달 지배 방정식²⁾은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\nabla^2 T = \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial t} - \frac{Q}{K} \quad (1)$$

$$Q = \frac{2\alpha(1-R)P}{\pi\delta^2} \exp\left[-2\left(\frac{r}{\delta}\right)^2 - az\right] \quad (2)$$

K : 열확산 계수, Q : 열원의 방정식, P : 입사되는 레이저 파워, R : 반사율, a : 재료내부의 에너지 흡수 계수, δ : 빔 유효반경

초기조건은 상온으로 하였으면 경계조건은 표면에서의 대류만 고려하였다.

2.2 신경회로망

본 연구에서는 레이저 스폿 용접시 두 판사이에 간극(gap)이 있을 때 용접부의 형상을 예측하기 위하여 신경회로망의 방법을 도입하였다. 이 것은 수치해석적 방법으로 간극이 있을때를 해석할때에는 상판의 용융된 용접부의 유동과 간극사이에서의 복사열 등까지 고려하여야 하므로 매우 복잡하여 해석을 통한 형상예측에 많은 제한점을 갖는다. 그러므로 간극이 없을 때, 실험을 통해 검증된 수치해석 결과와 간극이 있을 때의 실험결과를 이용하여 학습시키고 간극이 있을 때 다양한 조건에서의 용접부 형상을 예측하기 위한 것이다. 신경회로망의 학습은 다음과 같은 세가지 방법으로 수행하여 용접부 형상 예측을 위한 주요인자를 결정하였다.

type	입 력			출 력	
1	두께치수 (상판,하판)	비드형상(상판용융부, 너겟크기, 용접깊이)	간극크기	용접조건(에너지, 펄스타입, 초점거리)	비드형상(상판용융부, 너겟크기, 용접깊이)
2	"	"	"	x	"
3	x	"	"	x	"

입,출력 값은 시그모이드 함수의 특성에 의해 값들이 0 혹은 1로 수렴하는 것이 어려우므로 0.1 ~ 0.9 사이의 값으로 표준화(normalizing) 하였다.³⁾

이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$[(0.9 - 0.1)/(Value(max) - Value(min))] \cdot (Value - Value(min)) + 0.1 \quad (3)$$

여기서 Value(max)는 스폿용접의 비드형상 및 용접조건들의 최대값을 의미하며 Value(min)은 최소값을 의미한다. 또한 Value는 비드형상 및 용접조건들의 실제값을 의미한다.

3. 레이저 스폿 용접 시뮬레이션 및 실험

본 연구에서 개발한 윈도우 프로그램을 이용하여 도시한 FDM 수치해석 결과와 신경회로망을 통한 용접부 예측의 결과는 각각 Fig.2, Fig.3 과 같다. Fig.4(a),(b),(c)는 위표에서 나타난 type1에서 신경회로망을 이용하여 두 판 사이에 간극이 있을 때 용접부 형상을 예측시에 실제 실험과 비교하여 나타난 오차를 나타낸 것이다. 이용한 해석결과의 검증과 신경회로망 학습을 위한 데이터를 확보하기 위하여 수행한 실험은 여러 소재두께(0.3+0.33, 0.33+0.5, 0.4+0.6, 0.5+0.5, 0.6+0.5)에 대하여 아래의 조건에서 수행하였다.

간극(mm)	레이저 출력(J)	펄스 타임(ms)	초점거리(mm)
0, 0.06, 0.12	2.5 - 4.5	2 - 6	75 + 0.5, 75 + 1.0

4. 결론

위의 결과로부터 본 연구에서 개발된 신경회로망의 방법은 레이저 스폿 용접부 형상에서 간극이 없을 경우의 데이터를 가지고 간극이 있을 경우에 대한 예측이 잘 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한 실험으로써 여러 두께의 간극이 없는 경우에 대한 수치해석의 타당성을 입증하였다. 이 결과로부터 FDM과 신경회로망의 조합을 통한 모델이 여러조건에 대한 레이저 스폿 용접에서의 용접부 형상의 예측에 효과적으로 이용될 수 있음을 알 수 있다. 이것은 두 판 사이에 간극이 있을 때 수치해석을 통한 용접부 형상의 예측이 갖고 있는 많은 제한점에 대한 새로운 대안을 제시할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Andrew Cullison, "Welding: A heavyweight in a miniature world" Welding Journal, May 1996, pp. 29-34.
2. Jae-Do Kim, "Prediction of the penetration depth in laser beam welding" KSME Journal, Vol.4, No.1, pp. 32-39, 1990
3. W. Ameling, J. Borowka, U. Dilthey, L. Kreft, M. Raus and W. Scheller, Achen, "Adaptive arc sensor for varying joint geometry - The use of artificial neural networks", Welding and Cutting, 1992

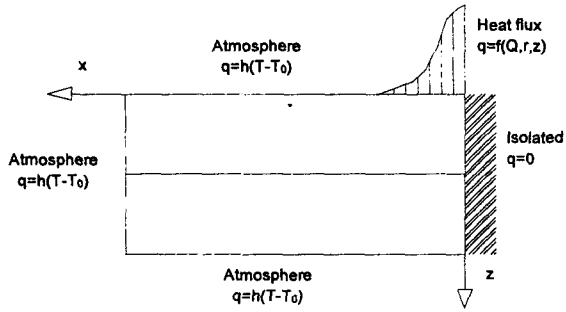


Fig.1 Boundary conditions of solution domain

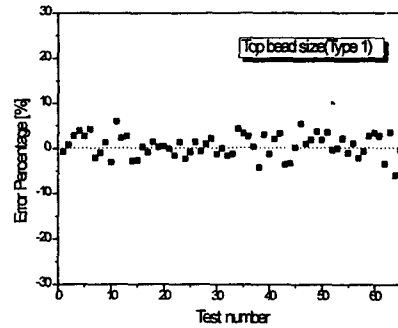


Fig.4(a) Estimated error of top bead size in neural network

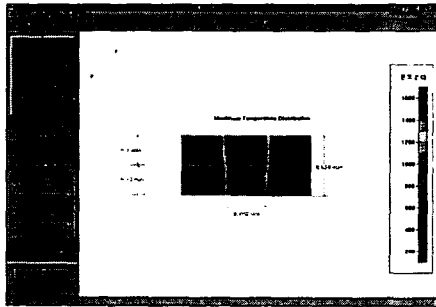


Fig.2 Calculated temperature profile in solution domain

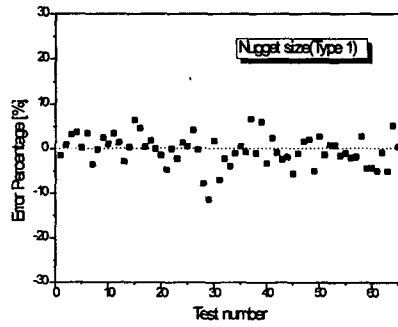


Fig.4(b) Estimated error of nugget size in neural network

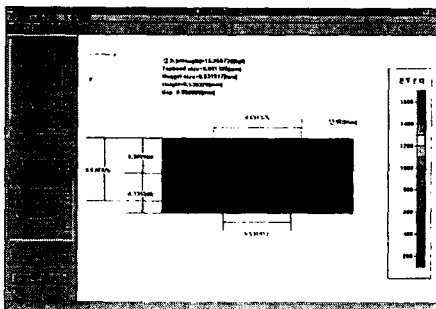


Fig.3 Predicted bead shape using neural network

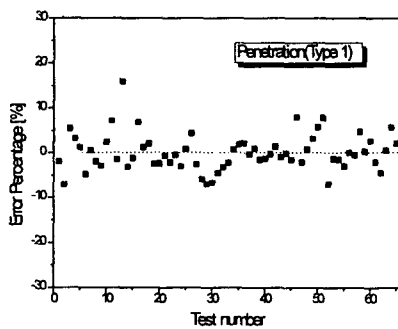


Fig.4(c) Estimated error of penetration depth in neural network