

키홀 형성을 고려한 레이저 아크 하이브리드 용접 열원 모델링

Heat source modeling of laser arc hybrid welding considering keyhole formation

조 영태*, 나 석주*

* 한국과학기술원 기계공학과

ABSTRACT Laser arc hybrid process is actively researched as a new welding method since it has several advantages by the combination of laser beam and electric arc. By the coupling of two different heat sources, laser and arc mutually assist and influence. High power laser can make the deep keyhole and arc plasma can form the large bead shape. In this paper the effect of two different heat sources to weld bead are investigated and as a result of analysis, it is shown that the lower part of keyhole is heated by laser and the upper part of weld pool is dominantly heated by arc.

1. 서 론

레이저 아크 하이브리드 용접에 사용되는 열원 모델링을 진행할 때 해석의 복잡성으로 인해 여러 가지 가정을 포함하였는데 특히 모재의 형상 변화를 고려하지 않는다는 가정을 적용하였다 [1,2,3]. 그러나 고출력의 레이저를 사용하게 되면 레이저 에너지에 의해 키홀이 형성되어 모재의 표면 형상이 편평하지 않게 되므로 해석의 정확성에 문제가 된다. 따라서 본 연구에서는 키홀의 형상을 고려한 레이저 아크 하이브리드 용접 열원 모델링을 수행하여 해석의 정확성을 높이고 또한 레이저와 아크 플라즈마가 용융부의 형상에 어떠한 영향을 주는지에 대한 물리적인 이해에 도움을 주고자 하였다.

본 연구에서는 용융풀이나 키홀의 거동 해석 보다 플라즈마 자체의 거동 변화에만 관심이 있으므로 키홀이 형성되었다고 가정하고 그 형상 위에서 플라즈마의 거동 변화를 시뮬레이션하여 고출력 레이저를 사용하였을때 발생하는 키홀의 형상을 고려한 레이저 아크 하이브리드 플라즈마를 모사하였다.

2. 해 석

낮은 출력의 레이저에서는 conduction mode로 볼 수 있으나 고출력 레이저를 사용하여 금속을 용접하는 경우에는 keyhole mode로 보아야 한다. 이 때 발생하는 키홀의 모양을 원뿔 형태의

홈이 있는 것으로 가정하였다. 레이저는 원뿔 형태의 키홀 중심에 정확하게 조사되는 것으로 보았고 키홀의 생성과 진행에 관련된 여러 가지 물리적인 현상들은 플라즈마 해석에 고려되지 않았다[4].

해석 영역은 Fig. 1에서 보여주는 것과 같이 전극과 모재 그리고 키홀 부분이 있다. 새로운 경계인 B1B2에서 키홀의 형상이 고려가 되었으며 그림에서 보듯이 금속 증기는 B1B2 경계에서 수직으로 발생하는 것으로 보았다. 레이저 및 아크 가열에 의한 모재의 온도 증가 조건 및 금속 증기의 발생에 의한 전위 분포의 변화가 B1B2 경계조건으로 들어가게 된다. Table 1에 경계조건들을 나열하였다.

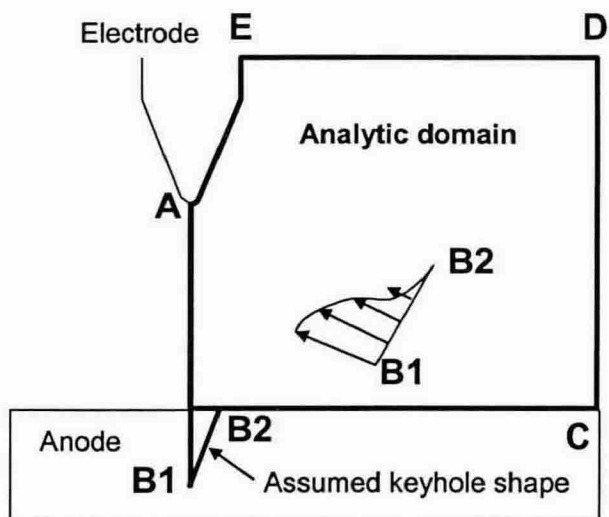


Fig. 1 Analytic domain for the analysis of plasma on

the assumed keyhole shape

Table 1 Boundary Conditions for the analysis of plasma on the assumed keyhole shape

AB1	$u = 0$	$\frac{\partial w}{\partial r} = 0$	$\frac{\partial h}{\partial r} = 0$	$\frac{\partial \phi}{\partial r} = 0$
B1B2	$u = 0$	$w = 0$	$h = h_{const}$ ($T = T_{given}$)	$\phi = \phi_{effective}$
B2C	$u = 0$	$w = 0$	$h = h_{const}$ ($T = T_{given}$)	$\phi = \phi_{given}$
CD	$\frac{\partial(r\rho u)}{\partial r} = 0$	$\frac{\partial w}{\partial r} = 0$	$\frac{\partial h}{\partial r} = 0$	$\frac{\partial \phi}{\partial r} = 0$
DE	$u = 0$	$w = w_{given}$	$h = h_{const}$	$\frac{\partial \phi}{\partial z} = 0$
EA	$u = 0$	$w = 0$	$h = h_{const}$ ($T = T_{given}$)	$j_n = j(s)$

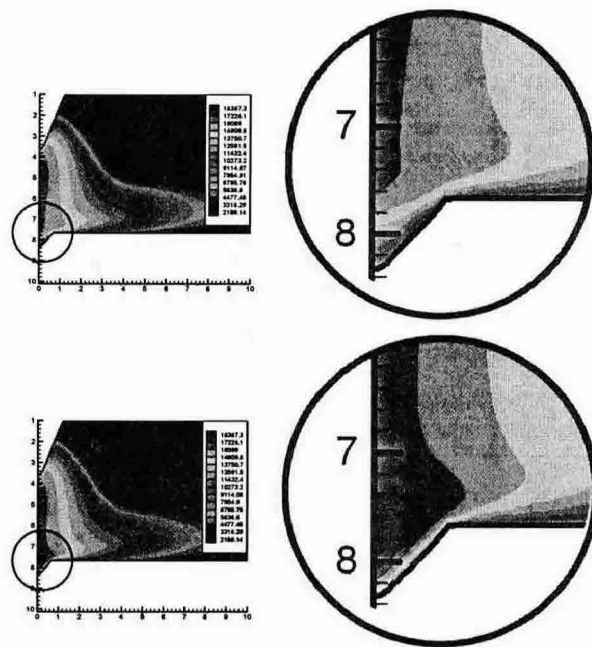


Fig. 2 Temperature profile for hybrid plasma on assumed keyhole shape for 200W and 1kW laser (150A TIG arc)

전류를 150A로 일정하게 하고 레이저의 파워를 200W에서 1kW로 점점 변화시킬때 온도 분포의 변화를 Fig. 2에서 보여주고 있다. 레이저가 조사되는 중심 지역에서 레이저의 파워를 올릴 수록 더 높은 온도 영역이 발생함을 확인할 수 있고 200W인 경우 레이저에 의해 발생하는 금속 증기

의 양이 매우 작아서 아크 플라즈마의 집중 효과가 거의 없으며 레이저의 파워를 점점 키우면 키홀 영역에서 플라즈마의 온도가 점차 상승하다가 1kW의 Nd:YAG 레이저를 사용한 경우에는 전극 봉 끝단에서 보다 키홀 근처에서 더 높은 온도를 가지게 된다. 또한 키홀 속에서 플라즈마의 국부적인 온도 상승 영역이 발생하여 레이저의 진행에 영향을 미치게 될 것으로 예상된다.

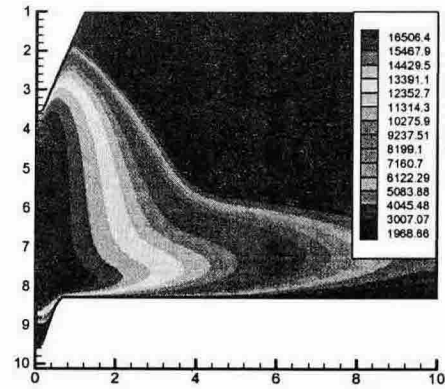


Fig. 3 Temperature profile for hybrid plasma on assumed keyhole shape with various keyhole shape (150A TIG + 500W Nd:YAG)

레이저의 파워에 따라 키홀의 형상이 달라질 것이므로 가정하는 키홀의 형상을 변화시켜서 키홀의 형상 변화에 따른 플라즈마의 온도 분포 변화를 시뮬레이션 한 것을 Fig. 3에서 보여주고 있다. 키홀의 각도가 좁아지고 깊이가 깊어지면 플라즈마가 키홀 바닥까지 닿지 않아서 키홀 안쪽에서는 플라즈마에 의한 모재의 가열 효과가 줄어들고 레이저 에너지만 키홀 속으로 전달되며 아크는 키홀 윗면에서 모재에 영향을 미치는 것으로 판단이 된다. 또한 키홀의 폭이 좁은 경우

아크 플라즈마의 국부적인 온도 상승은 키홀 상단에서 발생하며 키홀 폭이 넓어지면 키홀 속으로 아크 플라즈마가 일부분 들어가게 된다. 이러한 결과로부터 레이저 아크 하이브리드 용접에서 고출력 레이저를 사용하여 키홀을 발생시킨 경우 키홀의 유지는 레이저에 의해 일어나고 키홀 상단부의 가열은 아크에 의해 이루어 진다는 사실을 알 수 있다.

3. 결 론

레이저 아크 하이브리드 용접에서 고출력의 레이저를 사용하여 키홀이 발생한 경우에 키홀의 형상을 고려한 플라즈마 해석을 진행하였으며 그 결과 키홀의 안쪽에서는 주로 레이저에 의해 모재가 가열이 되며 키홀 상단부에서는 주로 아크에 의해 용융이 일어남을 알 수 있었다. 이러한 현상은 키홀의 형상 변화와 레이저 및 아크의 파워 변화에 따라 달라지며 수치 해석적인 방법을 통해 각각의 경우에 대한 플라즈마의 거동 변화를 시뮬레이션 할 수 있었다.

후 기

본 연구는 교육인적자원부에서 지원하는 두뇌한국 21 사업과 한국생산기술연구원의 후원을 받아 수행되었습니다. 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참고문헌

1. Y. T. Cho and S. -J. Na : Analysis of the effect of laser-induced metal vapor on the arc plasma, The International Welding Congress, Mumbai, India, Feb. 16-19, 2005
2. 조영태, 나석주 : 하이브리드 용접에서 레이저에 의한 금속 증기가 아크 플라즈마에 미치는 영향에 관한 해석, 대한 용접학회 추계 학술대회, 2003
3. 조영태, 나석주 : 헬륨 보호가스 내에서의 레이저 아크 하이브리드 플라즈마의 거동에 관한 해석, 대한 용접학회 추계 학술대회, 2004
4. P. Solana and G. Negro : A study on the effect of multiple reflections on the shape of the keyhole in the laser processing of materials, Journal of Physics D, applied physics, V.30, No.23, 1997, pp. 3216-3222