

레이저표면합금층의 형상 및 성분예측

*최정영, 이창희
 한양대학교 금속공학과
 표면개질 및 접합연구실

1. 서론

레이저표면합금화는 고에너지 밀도를 가지는 레이저를 이용 재료의 표면에 내식성, 내마모성, 내열성, 내산화성 등의 표면특성을 지닌 재료를 모재와 용융희석시켜 새로운 합금층을 형성하는 표면개질의 한 방법이다. 이러한 레이저표면합금화는 다른 표면개질방법과 비교하여 재료의 기계적성질을 저하시키는 열영향부가 좁게 나타나며 고융점이고 brittle하여 사용이 어려웠던 세라믹 재료의 합금화가 용이하며 요구되는 조건에 적합한 재료를 선택하여 모재위에 새로운 합금층을 형성하기 때문에 모재와 합금층간에 상호 보완할 수 있는 복합재료의 특성을 지니게 된다.

이러한 레이저 합금화는 재료의 표면만을 선택하여 용융시키기 때문에 합금화공정변수의 변화에 따라서 합금층의 형상과 합금층에서의 조성이 변화하게되어 합금화부위의 특성이 변화하므로 합금화 공정변수와 합금층의 형상 및 성분과의 영향에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 레이저합금화에대한 2차원 해석모델을 제시하여 합금화공정변수와 합금층의 형상과 성분에 대한 영향을 예측하였다. 레이저빔조사에따른 모재내의 열전달은 전도외에 대류의 영향을 받는다. 레이저합금화시 유동은 용융지표면에서의 온도구배에 따른 표면인장력의 차이에 의한 Marangoni convection에 의해 지배되며 이러한 유동과 열전도에 의해 합금층의 형상 및 합금화원소와의 모재와의 희석에 의한 합금층의 성분이 결정된다. 재료의 물성치는 온도증감에 따라 변화하며 재료의 열전달양상이 변하여 합금층의 형상에 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 열물성치를 온도에 따라 변화하는 값을 취하여 현상에 가까운 모델이 되도록 하였고 합금층 내부에서의 전도 및 대류를 고려하여 합금층의 형상 및 성분을 상용 FEM해석프로그램인 FIDAP을 이용하여 예측하였다.

2. 이론

2-1. 레이저 합금화

레이저합금화시 합금화원소의 첨가방법에는 codeposition방법과 predeposition방법이 있는데 본 연구에서 고려한 predeposition방법을 Fig. 1에 나타냈다. 미리 모재표면에 합금화원소를 predeposition하였으며 조사된 레이저빔은 predeposition된 영역에서 흡수되어 모재로 전달되어 모재와 용융희석되어 합금층을 형성하였다. 그때의 합금층의 성분은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

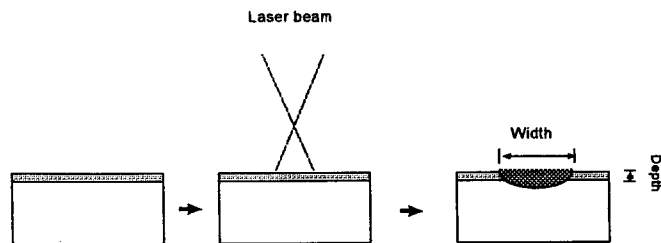


Fig.1 Schematic representation of laser surface alloying

$$\text{합금화원소의분율} = \frac{\text{predeposition된 면적}}{\text{합금화부위의 면적}} \times \text{predeposition 영역에서의 원소성분}$$

$$\text{모재원소의분율} = 1 - \text{합금화 원소의분율}$$

2-2. 유동의 구동력

레이저 합금화시 발생하는 대류는 용융지표면에서의 온도구배에 따른 표면인장력의 차이로 발생하는 Marangoni convection과 밀도변화에 따른 부력에 의해 발생한다.

가. Marangoni convection

레이저 빔이 조사되면 재료표면에서 용융이 발생하며 용융지표면의 중심에서 용융지끝으로 온도구배가 발생한다. 재료가 각각의 온도에서 다른 표면인장력을 가지므로 용융지 표면에서 표면인장력의 구배가 발생된다. 이러한 표면인장력의 차이는 용융지표면에서 전단응력을 발생시켜 용융부에 유동이 일어나도록 한다, 이러한 표면인장력과 전단응력과의 관계식은 다음과 같다.

$$\mu \frac{\delta V_x}{\delta x} = - \frac{\delta T}{\delta x} \frac{\delta \gamma}{\delta T} T$$

$$\mu \frac{\delta V_x}{\delta x} = - \frac{\delta T}{\delta x} \frac{\delta \gamma}{\delta T} T$$

[μ : viscosity, γ : surfacetension, V_x, V_y : momentum component, T : temperature]

이렇게 발생된 유동은 유체 내에서의 열 및 운동량의 이동을 증가시키는 역할을하여 합금층의 형상 및 온도분포를 변화시킨다.

나. 부력(buoyancy force)

용융지내에서 발생하는 온도구배에 따라 재료의 밀도가 변화하며 이러한 구배에 의해 용융지내부에서 유체의 이동이 발생되는 다음과 같은 식으로 표현될 수 있다.

$$f_{density} = \rho_0 g (1 + \beta)$$

[ρ_0 : density, g : gravitational coefficient, β : compressibility]

2-3. 이동열원

레이저 빔이 모재에 조사되는 것을 표현하기 위하여 아래와 같은 heat flux식을 이용하였으며 레이저빔의 이동을 고려하기 위하여 각각의 시간에 따른 레이저빔의 조사되는 heat flux값을 Fig.2와 같이 변화시켰다.

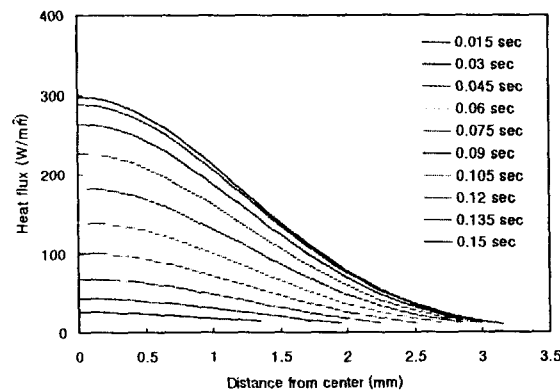


Fig.2 Heat flux as a function of time

2-4. 변 수

본 연구에서는 레이저빔의 파워 이동속도, 빔크기를 변화시켜 각각의 공정변수에 따른 합금층의 형상을 예측하고 합금화원소와 모재와의 희석에 의한 성분변화를 예측하였다.

모재는 순수한 Fe로 가정하였으며 사용된 합금화원소의 성분 및 공정변수는 아래와 같다.

Table 1. Chemical composition of alloy element

Composition	Ni 80%, Cr 20%
-------------	----------------

Table 2. Processing parameter of laser surface alloying

Beam power	2kw, 3kw, 4kw
Beam size	2mm, 4mm, 6mm
Travel speed	20, 30, 40, 50, 60mm/sec

2-5. 모 델

합금층의 형상은 전도 및 대류에 의해 결정되며 레이저합금화시 대류를 발생시키는 인자인 부력과 표면인장력과 열전도에 의한 용융부의 형상을 구하였다. 실제 현상에 근접하도록 열 및 물리적 물성치를 상수로 하지않고 온도에 의존하는 함수로 나타냈다. 본 연구에 사용한 가정, 지배방정식 및 열물성치는 아래와 같다.

가. 가정

본 해석에서는 다음과 같은 가정을 하였다.

- 1) 2차원 비정상상태로 해석하였다.
- 2) 물성치를 온도에 의존하는 함수로 나타냈다.
- 3) Coating층의 열물성치는 모재와 같다.
- 4) Radiation은 무시하였다.

나) 지배방정식

본 해석에 사용된 지배방정식은 아래와 같다.

Continuity equation

$$\frac{\delta u}{\delta r} + \frac{u}{r} + \frac{\delta w}{\delta z} = 0$$

Momentum equation

radial component

$$\frac{\delta u}{\delta r} + u \frac{\delta u}{\delta r} + w \frac{\delta u}{\delta z} = -\frac{1}{\rho} + \frac{\delta P}{\delta r} + \nu \left[\frac{\delta^2 u}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta u}{\delta r} - \frac{u}{r^2} + \frac{\delta^2 u}{\delta z^2} \right]$$

axial component

$$\frac{\delta w}{\delta r} + u \frac{\delta w}{\delta r} + w \frac{\delta w}{\delta z} = \frac{\delta P}{\delta z} + \nu \left[\frac{\delta^2 w}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta w}{\delta r} + \frac{\delta^2 w}{\delta z^2} \right] + g\beta(T - T_0)$$

Thermal Energy Conservation

$$\frac{\delta T}{\delta r} + u \frac{\delta T}{\delta r} + w \frac{\delta T}{\delta z} = a \left[\frac{\delta^2 T}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta T}{\delta r} + \frac{\delta^2 T}{\delta z^2} \right] - \frac{\Delta H}{\rho C_p} \frac{\delta f_L}{\delta t}$$

다) 초기조건 및 경계조건

초기온도는 대기온도인 298K로 하였으며 재료표면에서의 열경계조건은 아래와 같은 대류열경계 조건으로 나타냈다.

$$\vec{q} = h_c(T - T_a)$$

[h_c : convective heat transfer coefficient, T_a : atmosphere temperature]

라) 열물성치

모재의 용점온도이하에서는 탄소강의 물성치를 사용하였으며 용점이상에서는 합금화원소가 Cr, Ni로 모재인 Fe와 용융희석시 300계 STS와 비슷하므로 300계 STS의 물성치를 사용하였다.

Properties	Values
Gravity	9.8 m/sec
Density	7200 kg/m ³
Viscosity	Temperature dependent
Thermal conductivity	Temperature dependent
Specific heat	Temperature dependent
Volumetric expansion coefficient	0.0001 /K
Surface tension coefficient	4.3 × 10 ⁻⁴ N/m · K
Liquidus temperature	1768 K

Table.3 Thermal properties of material

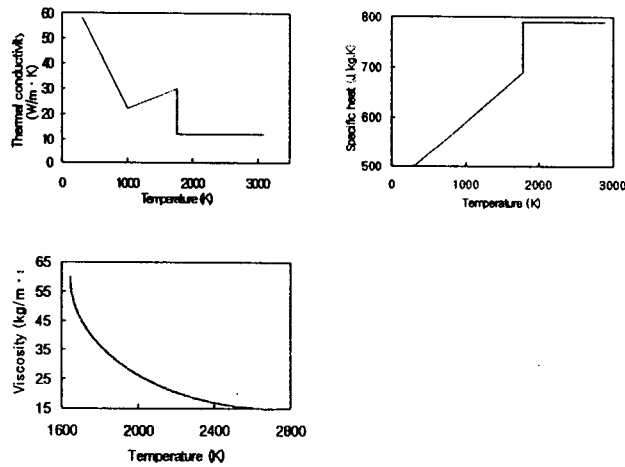


Fig.2 Temperature dependent thermophysical properties

3. 결론

이와 같은 해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

빔파워가 증가하고 빔의 이동속도가 증가 할수록 단위 면적당 입열되는 에너지가 증가하므로 합금층의 폭과 깊이는 증가하였으며 모재와 희석되는 정도가 커져 모재인 Fe는 지수함수적으로 증가하고 합금화원소인 Cr, Ni는 지수함수적으로 감소하였다.

단위면적당 입열되는 에너지가 증가할수록 합금층의 폭은 빔크기와 같아졌다.