

# CO<sub>2</sub> 레이저를 이용한 Fe-base 소결체와 탄소강의 이중재료간 용접시 발생하는 캐비티 형성에 관한 연구

## Formation Mechanism of Cavity in the CO<sub>2</sub> Laser Fusion Zone Between Sintered Fe-base Segment and Mild Steel Shank of Diamond Saw Blade

신 민 효 \*, 이 창 희 \*, 김 태 응 \* \*, 박 희 동 \* \*

\* 한양대학교 재료공학부

\* \* 이화다이아몬드공업(주) 기술연구소

### 1. 서 론

Diamond saw blade는 건설현장에서 널리 사용되고 있으며[1], Fig. 1에서 볼 수 있듯이 다이아몬드 칩을 포함한 소결체 팁을 지지체인 샹크(shank)에 접합하여 제작한다. 접합 방법으로는 브레이징법이 널리 사용되었으나, 중금속 삼입재의 사용에 따른 환경오염의 야기 및 열변형에 따른 불량증가 등의 문제점이 제기됨에 따라 레이저를 이용한 접합 방법으로 대체되고 있는 실정이다. 레이저를 이용한 접합 방법은 환경 친화적 기술일 뿐만 아니라 생산속도가 브레이징에 비해 빠르며, 저입열량임에도 불구하고 키홀 형성에 의한 깊은 용접부를 얻을 수 있으므로 열변형이 적고 비교적 높은 접합 강도를 가지는 용접부를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 용접부에 발생하는 불규칙 험프(irregular hump)나 캐비티(cavity) 등은 diamond saw blade의 외형상의 품질 뿐만 아니라 접합강도를 저하시키므로 저감되어야 할 요소이다. 따라서 본 연구에서는 diamond saw blade의 레이저 용접부에 발생하는 이들 결합의 형성기구 규명을 통한 저감대책 마련을 목적으로 하였다. 이를 위해 빔 파워(beam power), 빔 이송속도(travel speed) 및 팁 종류와 결합형성과의 상관관계 연구를 통해 결합형성기구를 파악하고자 하였다.

### 2. 실험방법

Fe-Co-Ni 주성분의 소결체 팁과 탄소강(mild steel) 샹크를 최대 출력 3kW CW CO<sub>2</sub> 레이저를 이용하여 용접을 수행하였다. 용접방법으로는 먼저 저입열의 레이저 빔을 이용하여 한쪽 면을 가접한 후 반대면을 고입열의 레이저 빔을 이용하여 본 용접을 하는 방법이며, Table 1에 나타난 바와 같이 가접조건은 고정하고 본 용접조건을 달리하여 실험을 하였다. 또한 소결기 내부에서의 소결 위치에 따른 결합형성 경향 파악을 위해 소결 몰드와 접촉한 팁과 접촉하지 않은 팁을 사용하여 용접을 한 후 결합형성을 비교 분석하였다. 공정변수와 캐비티 형성과의 상관관계 및 형성원인 규명을 위해 Image analyzer를 이용하여 캐비티의 수, 팁 내의 Preexist pore의 량을 측정하였으며, AES를 이용하여 캐비티 내벽의 성분변화를 분석하고자 하였다. 또한 Preexist pore의 형성원인 파악을 위해 EDS를 이용하였다.

### 3. 실험결과

#### 3.1 불규칙 험프(Irregular hump)

Fig. 2에 나타난 바와 같이 용접부 표면 및 내부에 캐비티가 다수 존재함을 확인할 수 있었고, 언더 컷(under cut)을 동반하는 불규칙한 험프의 형성이 관찰되었다. 용접공정조건에 따라 험프의 형성 경향이 달랐으며, 험프간 간격 편차를 기준으로 험프 형태를 세 종류로 분류하였다. 먼저 험프간 간격 최대 최소 값의 차가 0.2mm 미만의 비교적 규칙적인 험프를 A type, 0.3mm 미만을 B type, 0.3mm 이상의 간격편차를 가지는 불규칙한 험프를 C type으로 구분하였고, A에서 C로 갈수록 불규칙도 및 언더컷 발생이 증가하며 험프의 높이 또한 증가하였다. 따라서 C type의 험프가 형성된 용접부는 가장 불규칙한 험프 및 다수의 언더 컷을 동반하므로 용접조건을 재설정을 해야한다. 입열량을 기준으로 험프의 type을 비교해 본 결과 10.4 kJ/min에서 17.6 kJ/min 입열량 범위 내에서 A, B Type의 험프가 형성되었으며, 이들 입열량 범위 밖에서는 C type의 험프가 형성되었다. 이러한 불규칙 험프형성은 키홀(keyhole)입구의 용융금속의 resonant oscillation에 의한 것으로 알려져 있으

며[2], 따라서 연구결과는 resonant oscillation이 특정 입열량 범위에서 저감됨에 기인한 것으로 판단된다.

### 3.2 캐비티(Cavity)

입열량 변화에 따른 용접부 외부에서 관찰되는 외부 캐비티(outer cavity)의 형성경향은 Fig. 3에 나타낸 바와 같으며, 입열량이 감소함에 따라 전체 캐비티의 수는 증가하였다. 이들 캐비티는 키홀 내부를 채워야 할 용융금속의 부족에 의해 발생하는 것으로 생각된다. 입열량이 감소함에 따라 키홀 내부에서 방출되었던 용융금속의 응고속도는 증가하게 되며, 또한 빔 이송속도의 증가에 따라 키홀 입구의 용접방향 벽면에서 반대방향으로의 용융금속 유동속도가 증가하게 된다. 그 결과 키홀 내부를 채우기 위한 용융금속의 부족은 증가하게 되고 따라서 외부 캐비티가 증가하는 것으로 파악된다. Fig. 4에서는 입열량 변화에 따른 내부 캐비티(inner cavity) 형성 경향을 보여주고 있다. 외부 캐비티와 마찬가지로 입열량이 감소함에 따라 전체 캐비티 수는 증가하며 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 용접부 길이방향 및 수직방향으로 관찰한 결과 키홀 바닥부분에서 발생한 금속증기 및 소결팁에서 성장한 기포[3]가 용융금속내에서 용접부 표면으로 떠오르는 도중 용융금속의 응고가 완료되어 캐비티를 형성함을 확인할 수 있었다[4]. 입열량 증가에 따라 용융금속의 응고속도가 지연되며 그 결과 용융금속내의 기포들이 용융금속 표면으로 떠올라 제거될 수 있는 충분한 시간을 제공하므로 입열량 증가에 따라 내부 캐비티가 감소하는 것으로 파악된다. AES를 이용하여 내부 캐비티 내벽을 분석해 본 결과 산화막이 존재함을 확인할 수 있었다. 이는 대기에서의 산소 유입 및 소결체 팁 내부에 포함되어 있던 산소의 유입에 따른 것으로 생각되며, 소결 팁 내부의 산소는 소결시 사용한 파라핀의 연소, 소결분말 표면의 산화막에 기인한 가능성이 있다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 EDS 분석결과 preexist pore근접부에서 Fe 함량이 많은 것으로 분석되었으며, preexist pore의 형성은 Fe 분말표면 산화막에 따른 분말 계면간 확산속도 감소에 의한 것으로 생각된다. 소결 팁의 종류에 따른 내부 캐비티 형성경향을 비교 분석한 결과, 소결 몰드 접촉 팁의 경우 비접촉 팁보다 내부 캐비티의 형성이 많았으며, 이는 소결 몰드 접촉 팁 보다 비 접촉팁에서 preexist pore의 함량이 많았기 때문이며, 팁의 preexist pore가 내부 캐비티를 형성함을 확인할 수 있었다. 이러한 preexist pore의 함량차는 소결기 내부의 압력분포의 불균일에 따른 것으로 파악된다.

## 4. 결 론

이상의 연구결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 용접부 표면에 형성되는 불규칙 험프는 10.4 kJ/min에서 17.6 kJ/min 입열량 범위 내에서 감소되었다.
2. 외부 캐비티는 입열량 감소에 따라 증가하였으며, 생성원인은 키홀 내부를 채워야 할 용융금속의 부족에 따른 것이다.
3. 내부 캐비티는 입열량 감소에 따라 증가하였으며, 키홀 바닥에서 발생한 금속증기 및 소결팁에서 성장한 기포가 용융금속 내에서 떠오르는 도중 용융금속의 응고가 완료되어 형성되었다.
4. 탄소몰드 접촉 팁의 경우 비접촉 팁보다 내부 캐비티의 형성이 많았으며, 이는 소결시 소결기 내의 불균일 압력분포에 의한 Preexist pore 함량 차에 따른 것으로 파악된다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단의 산학협력연구(2001-30100-015-1)지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. V.V Borisova, S.M. Kutev and S.F Moryashev : Laser welding diamond bearing segments to steel holders Paton, Welding Journal, 5-1(1993), pp56-581.
2. Martin Klassen, Jochen Skupin and Gred Sepold : Process instabilities by laser beam welding of aluminium alloys generated by laser modulations, Proceedings europto series, lasers in material

processing, munich, 3097(1997), pp137-146.

3. H.Zhao and T. Debroy : Pore formation during laser beam welding of Die-cast Magnesium alloy AM60B-Mechanism and remedy, *Welding Journal*, 80-8(2001), pp204-210
4. K.Girard, J.M.jouvard, Ph. Naudy : Little porosities trapping during laser spot welding of tantalum, *F-ICALEO* (1998), pp168-178

Beam power(W)	Travel speed(m/min)	focal point	shielding gas flow rate ,Ar
1350	1	Surface of specimen	80ℓ/min
1470	1.2		
	1.35		
1650	1.7		

Table 1 Welding conditions applied in this experiment.

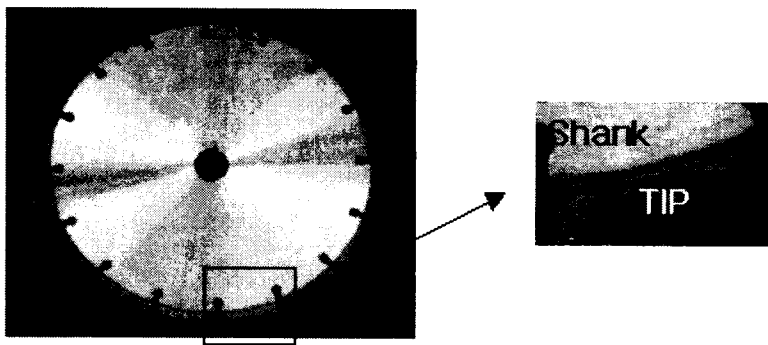


Fig. 1 Structure of diamond saw blade

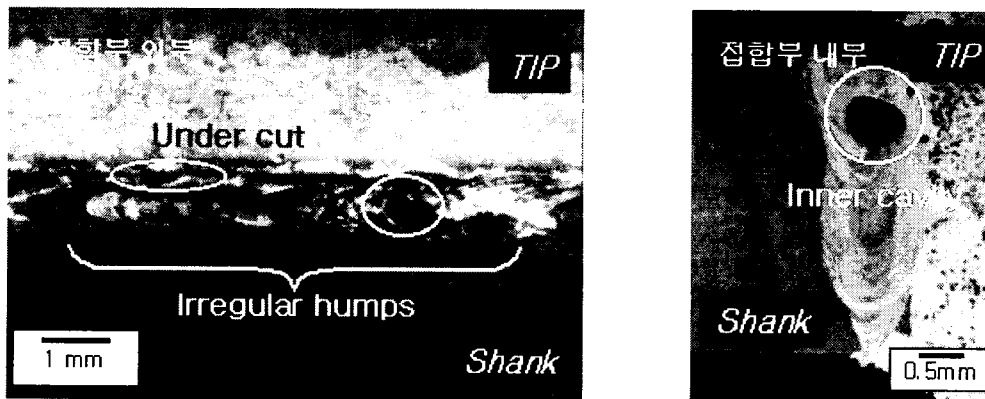


Fig. 2 Imperfections in CW CO2 laser fusion zone of diamond saw blade

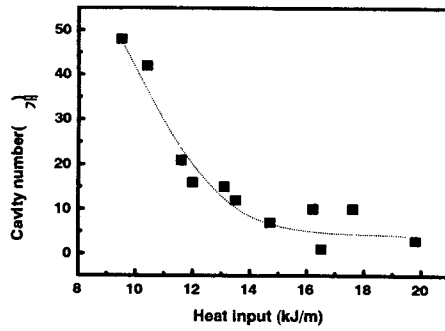


Fig. 3 Effect of heat input on outer cavity formation in carbon mold contacted tip

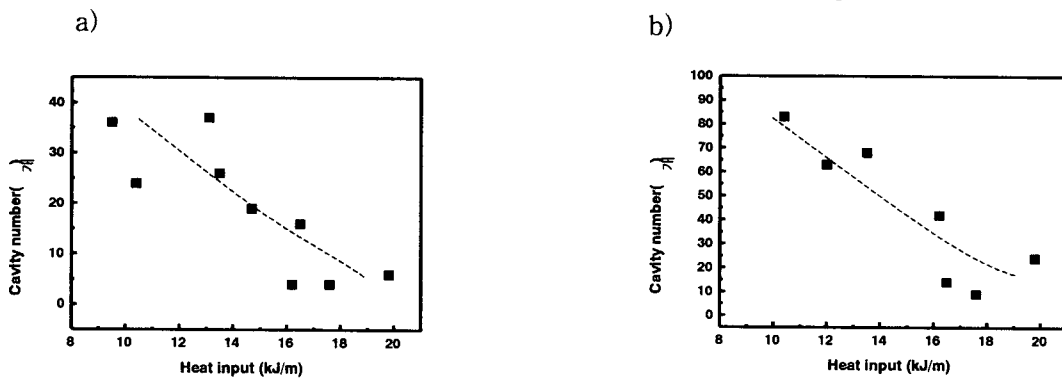


Fig. 4 Effect of heat input on inner cavity formation in a) carbon mold non-contacted tip b) carbon mold contact tip

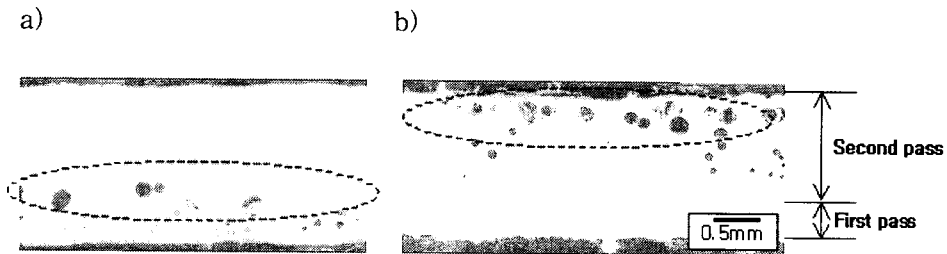


Fig. 5 Inner cavities in longitudinal section of weld a) 1350W, 1m/min partial penetration b) 1650W 1.2m/min full penetration

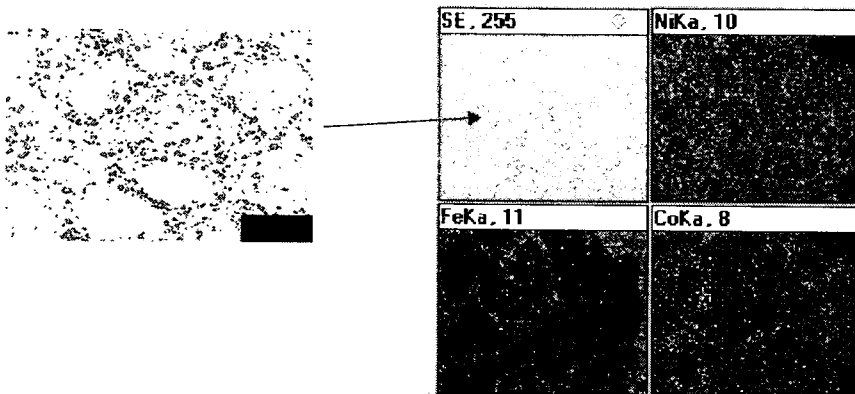


Fig. 6 EDS mapping of sintered tip