

尖端技術 어디까지 왔나

레이저를 利用한 熔接技術 (2)



崔 賢 圭
〈産業研究院 研究員〉

目 次

- I. 머리말
 - II. 레이저加工과 레이저加工機
 - III. 레이저熔接의 概要
 - IV. 레이저熔接의 特許動向
 - V. 맺는말
- 〈고딕은 이번號, 명조는 지난 및 다음號〉

III. 레이저熔接의 概要

—CO₂ 레이저熔接을 중심으로—

1. 레이저熔接의 原理와 特徵

레이저빔을 물체에 照射하면 일부는 흡수되어 熱로 되고 나머지는 반사한다. 金屬材料 등에 照射할 때 앞에서 언급한 바와 같이 〈圖1〉과 같은 加熱·熔融과정을 얻게 된다. 集光된 레이저빔은 초점위치에서 10⁵w/cm² 이상의 高에너지 密度를 가진다.

이런 高에너지 密度로 인해 照射中央部가 材料의 沸點 이상으로 가열되어 증발하기 시작한다. 증기압이 融體를 둘러싸게 되어 이른바 키홀이 생기며 동시에 플라즈마증기가 발생한다. 이 때문에 캐비티 内壁에서 레이저빔이 多重反射되어 레이저빔의 흡수율이 급격히 상승하므로 비드폭이 좁고 용입깊이가 깊은 熔接 비드를 얻을 수 있게 된다.

레이저熔接은 대기에서 할 수 있다는 잇점이 있다. 그러나 照射部 주변에 실드가스의 輝도가 높은 플라즈마가 발생하여 레이저빔의 흡수체 역할을 하게 되어 간접적으로 금속을 가열한다. 그러나 레이저빔이 직접 材料를 가열하는 것을 막고 플라즈마가 넓혀짐으로

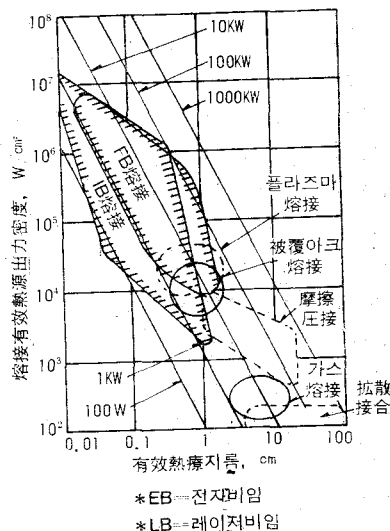
써 와인컵狀의 비드가 생기며 용접깊이도 같은 入熱의 電子시입熔接에 비해 얇다. 또한 빛이므로 반사손실이 있어 반사율이 높은 재료는 熔接이 곤란하다.

〈圖 6〉은 각종 熔接法의 熔接熱源出力密度를 나타낸 것으로 銅을 용융하는데 필요한 有效熱源지름과 熔接 有效熱源出力密度와의 관계이다. 레이저의 有效熱源지름은 매우 작은 것(0.05mm 지름)에서 큰 것(10~20mm)까지 변할 수 있다.

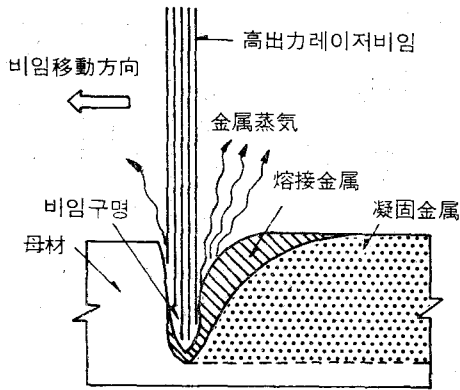
熔接비드의 형성은 〈圖 7〉과 같이 照射部에 생긴 비입구멍이 주위에 熔融金屬이 둘러 싸이고 비입구멍이 이동함으로써 비드가 생긴다.

레이저熔接의 특징은 다음과 같다.

- ① 레이저빔이 高에너지 密度의 線狀熱源이므로
- ② 熱影響部の 폭이 좁고 변형이 적다.
- ③ 高融點材料의 용접도 가능하다.



〈圖 6〉 각종 熔接法의 熔接熱源出力密度



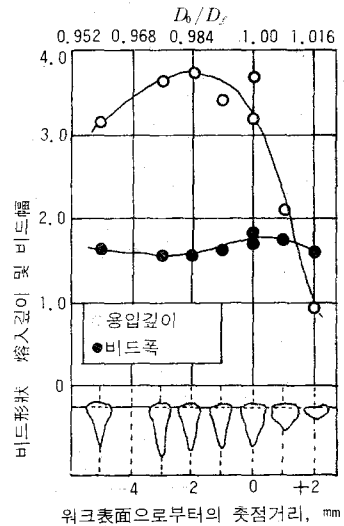
〈圖 7〉 레이저熔接의 비임구멍

- ㉓ 高精度 熔接이 가능하다.
- ㉔ 異種金屬의 熔接을 할 수 있다.
- ㉕ 高速熔接이 가능하다.
- ② 레이저비임이 대기중에서도 거의 減衰하지 않으므로
 - ㉖ 眞空챔버가 필요하지 않으며 加工物의 形狀, 크기에 거의 制限을 받지 않는다.
 - ㉗ 광학장치로도 에너지의 傳送, 分割이 쉬워 遠隔操作과 部分加工이 가능하다.
 - ㉘ 光에너지를 이용하므로
 - ㉙ 非導電性 材料도 加工할 수 있다.
 - ㉚ X線이 발생하지 않는다.
 - ㉛ 電氣·磁氣에 影響을 받지 않는다.
 - ㉜ 電極의 손실이 없다.
- 반면 문제점으로는
 - ㉝ 入熱效率이 낮다.
 - ㉞ 熔接홈부분이 高精度여야 한다.
 - ㉟ 스파이크(熔入 불균일로 어느 부분만 용입이 급격히 일어나는 현상), 블로우 홀 등의 결함이 나타나기 쉽다.
 - ㊱ 急熱·急冷으로 인해 熔接金屬組織이 아크熔接의 경우와 큰 차이가 있다.

2. 레이저熔接의 條件因子

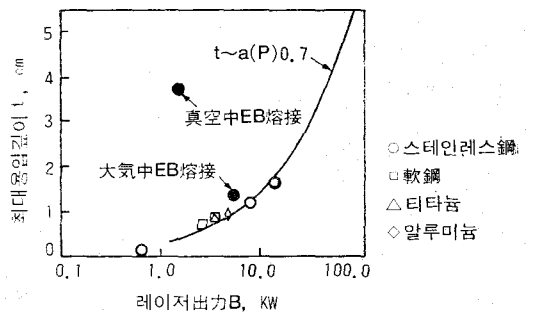
熔接비드의 形狀은 다음과 같은 因子에 影響을 받는다.

- ① 對物距離와 集光렌즈 초점거리와의 比(=Do/Df)
Do/Df값이 변하면 被熔接物에 照射된 레이저비임의 스폿크지름과 出力密度가 현저하게 변하고 비임구멍의 형상도 변한다. 〈圖 8〉은 그 變化를 나타낸 것이다. 이 특성은 電子비임熔接과 공통된 것이다.

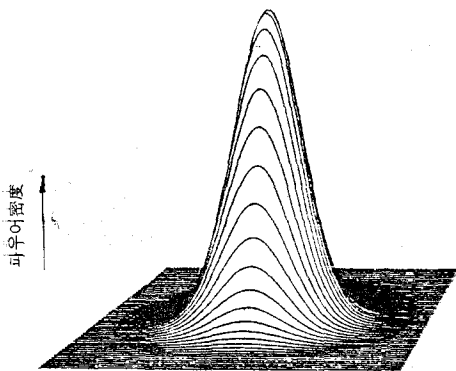


〈圖 8〉 비드形狀에 미치는 대물거리와 초점거리의 관계

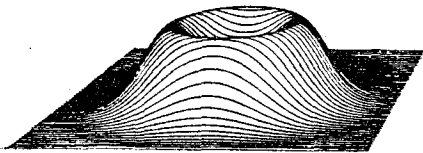
- ② 레이저出力
레이저出力이 증가함에 따라 용입깊이도 증가한다. (〈圖 9〉 참조)
- ③ 發振비임모우드(出力密度分布)
비임모우드란 레이저비임의 強度分布(파우어密度)를 단면으로 나타낸 것으로 그 예는 〈圖 10〉과 같다. 각종 레이저加工裝置가 있으나 각기 발생하는 레이저비임은 비임모우드가 다르고 이것이 熔入形상에 影響을 준다.
- ④ 熔接速度
熔接速度가 커지면 熔入깊이는 감소한다. 또한 용접 속도가 큰 경우 비드폭에 비해 용입깊이가 큰 형상을 얻을 수 있다. 다만 용접속도가 작을 때는 플라즈마가 많이 생기므로 이에 대한 연구가 있어야 할 것이다.
- ⑤ 실드가스(Shield gas)
레이저비임은 보통 He, Ar, Nz, CO₂ 등에 의해 둘러싸인 상태이나 이 실드가스의 종류, 흐름방향, 흐름



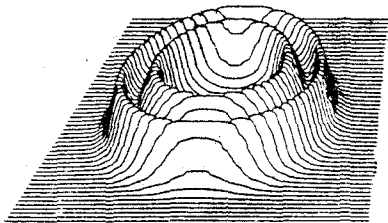
〈圖 9〉 最大熔入깊이와 出力과의 관계



(a)



(b)



(c)

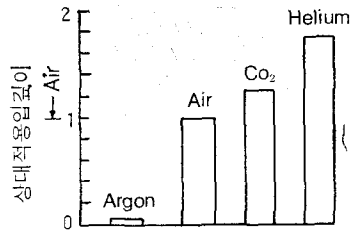
〈圖 10〉 레이저비임모우드

량에 따라 용입깊이가 달라짐을 보여주고 있다.

실드가스는 ㉔ 용접부 보호, ㉕ 광學系 보호, ㉖ 플라즈마除去에 쓰인다.

㉗ 被熔接物의 表面狀態

레이저비임이 被熔接物表面에 충분히 흡수되지 않으면 용입깊이가 달라진다. 보통 鋼板表面의 산화피막은 레이저를 잘 흡수하게 하나 氣孔發生을 조장하므로 쇼트 블라스트 등으로 제거한다. 티타늄합금(Ti-6Al-4V)의 경우 HNO₃/HF 용액중에 浸漬(dipping)하여 皮膜處理를 하고 알루미늄합금은 용접하기 바로 전에 표면을 연마한다.



〈圖 11〉 가스의 종류와 용입깊이 (공기를 1로 했을 때)

3. 熔接施工

레이저熔接이 지금은 電子部品과 薄板部材의 熔接에 이용되고 있다. 〈表2〉는 각종 금속의 레이저熔接條件을 나타내었다. 실제 용접을 할 때에는 미리 적절한 용접조건을 설정하지 않으면 안되며 다음 사항을 충분히 검토할 필요가 있다.

- ① 被熔接物의 物性値 : 표면상태, 판두께, 흡형상, 화학성분 등
 - ② 레이저비임 특성 : 비임모우드, 비임형상, 發振方式(펄스발진 또는 연속발진)
 - ③ 照射條件 : 비임出力, Do/Df, 실드가스의 종류와 流量, 熔接速度, 照射時間
 - ④ 기타 : 사용장치, 용접자세, 사용광학제
- 레이저용접에 영향을 주는 인자를 종합적으로 보면 〈圖 12〉와 같다.

4. 레이저 熔接部의 特性

레이저熔接部에는 전자비임용접과 같은 스파이크現象이 나타나며 氣孔이나 균열 등의 용접결함이 생기는 경우가 있다. 레이저熔接部에 생기는 기공은 CO, N₂, H₂ 가스와 금속증기에 의한 것으로 생각된다. 기공은 母材의 가스성분, 실드상태, 흡의 정도에 크게 좌우된다. 레이저비임에 의한 기공은 貫通熔接에서는 그다지 생기지 않으나 非貫通熔接에서는 루트部 주위에 많이 생긴다. 그러나 비임을 오실레이션하게 되면 감소한다.

熔接金屬의 龜裂에 대해서는 일반적으로 熱收縮도 적고 柱狀晶도 가늘기 때문에 생기기 어려우나 材質에 의한 응고균열, 변태경화에 의한 저온균열이 생기는 수가 있다. 예를 들어 SUS 310(25Cr-20Ni) 스테인레스鋼의 비드중앙에 응고균열이 생기며, 造船用 강판을 실드가스로 불충분하게 용접할 때 생긴 응고균열例가 보고되었다.

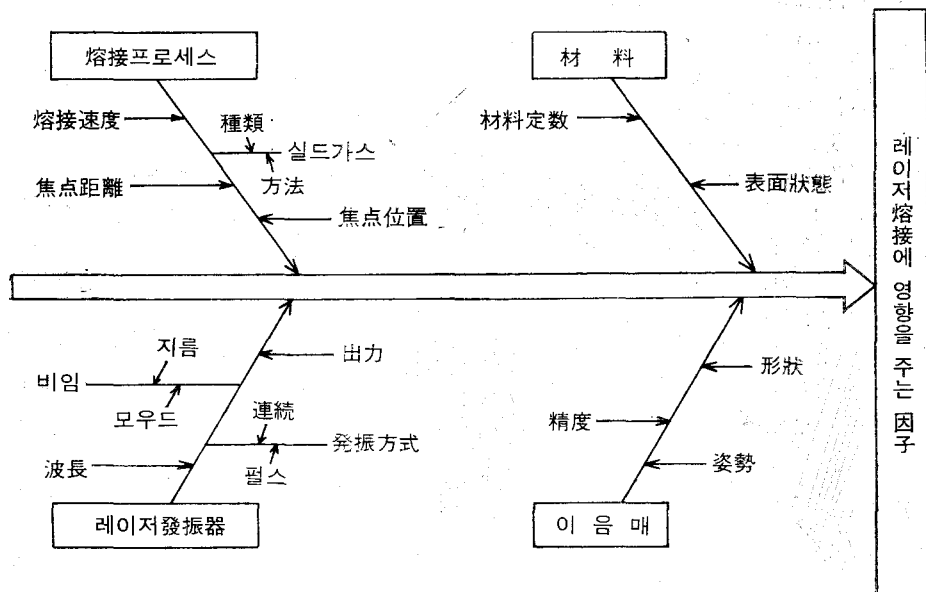
熔接部의 組織은 急熱·急冷의 熱사이클을 가지므로

〈表 2〉 레이저 용접條件의 例

		판 두께 (mm)	출력 (KW)	용접속도 (mm/s)	실드가스	축점위치 (mm)	축점거리
軟 鋼		2.0	2	50			127mm
		3.2	2	25			"
		6.2	5	16	He	-1	**127mm
		10.0	25	42~64	He	-5	$\alpha \approx 10^\circ$
		15.0	20	24	He	-6	"
		15.0	25	28	He	-6	"
	20.0	25	18	He	-6.5	"	
低合金高張力鋼		6.4	5~6	14.8~19.0			*
		6.4	10	25			*
		9.5	10	16.9~21.2			*
		12.0	11	12.7	He		*
		12.7	10	12.7~16.9			*
	13.2	12	10.6			*	
스테인레스鋼		6.0	5	16	He	-1	127mm
		8.9	8	13	Ar		
		12.7	20	42	"		
		20.3	20	21	"		
알루미늄합금	5456	2.8	5.5	42			*
		9.5	8.0	11.9	He	-4.8	*457
	5086	6.4	10.0	33.9			*
		9.5	9.0	14.8	He	-4.8	*457
	2219	6.4	5.0	25.4			*
티타늄합금		3.6	5.5	16.9~33.9			*
		5.8	5.5	17.8~33.4			*
		12.0	11	14.8	He		*
		4.0	4	44	He+Ar	0	** $\alpha \approx 10^\circ$
		13.0	25	46	He+Ar	-6	"
		20.0	25	26	He+Ar	-3~-6	"

* 裝置는 어느 것이나 UTRC

** α : 비입角度



〈圖 12〉 레이저 용접因子

〈※ 63p 하단에서 계속〉