

大韓熔接學會誌
 第6卷, 第1號, 1988年3月
 Journal of the Korean
 Welding Society
 Vol. 6, No. 1, Mar., 1988

YAG 레이저에 의한 이종금속판재의 접합특성

이 지 환*

Weldability of Dissimilar Metal Plates with YAG Laser

J. H. Lee

Key Words : YAG Laser(YAG 레이저), Pulse Duration(pulse 시간), Laser Power(레이저력), Welding Defects(용접결함), Welding Strength(접합강도), Dissimilar Metal Plates(이종금속판재)

Abstract

This paper describes weldability of dissimilar metal plates with YAG laser for the use of a small-size electronic spring parts. Effects of welding conditions, combination of plates, thickness of upper plate are examined in relation to welding strength and microstructure of welded region. The obtained results are summarized as follows.

Welding defects such as cavity and crack showed a tendency to easily occur in the case where 1) pulse duration is short, 2) laser power is high, 2) PBS plate with high thermal diffusivity is used for lower plate. Among these defects, the occurrence of cavity caused a drop of welding strength. This results from the reduction of welded area between upper and lower plates. In SK-5/SUS304 plates (thickness: 0.2/0.4mm), welding strength was the highest in welding conditions: laser power is 30J/pulse, pulse duration 9ms, amount of defocus +2mm.

1. 서 론

최근 레이저광선에 의한 레이저용접법은 종래의 결합방법으로는 용접할 수 없었던 이종금속의 용접이 가능하고, 가공후의 변질층이 극히 작고, 정밀용접을 할 수 있는 장점이 있으므로 여러 분야에서 급격히 실용화되고 있다.

레이저에 의한 용접에는 크게 대별해서 CO₂레이저에 의한 거시적인 용접과 고체레이저에 의한 미시적인 용접으로 나눌 수 있다. CO₂레이저는 출력과 발전효율이 큰 반면 파장이 커서 금속표면에서의 반사율이 커져 출력을 1kW 밖에 얻을 수 없었던 때에는 세라믹과 같은 비금속재료의 가공에만 사용되어 왔

으나 최근에는 출력의 향상과 더불어 표면반사문제가 극복되어 두꺼운 금속판재의 용접에도 사용되고 있다.^{1~4)} 고체레이저에는 Ruby, Glass, YAG 등이 있으나 이 중에서도 YAG레이저는 출력이 높고, pulse의 되풀이속도가 빠르고 금속에서의 흡수효율이 양호하여 소형전자부품의 미시적인 용접에 주로 이용된다.

현재까지 많은 연구자가 이종금속판재의 용접을 YAG레이저를 이용하여 행하여 왔다.^{5~11)} Seretsky 등은 용접이 용이하지 않은 Ti과 Ni 간의 판재를 여러가지 용접조건하에서 YAG레이저용접을 행하여 미세구조, 경도, 인장시험을 행한 바 있다.¹⁾ 와타나베 등은 용접이 용이하지 않은 Al판재의 접합특성에 관

* 인하대학교 공과대학 금속공학과

한 기초연구로서 YAG레이저를 이용하여 Al판재의 접합강도를 조사조건(조사에너지, pulse duration, defocus 등), 판재의 두께, 접합부의 조직과 경도시험으로부터 조사한 결과 Al판재의 용접가능한 최적조건을 밝힌 바 있다.¹⁰⁾ 마쓰나가는 Dot식 Printer의 인자헤드용재료로서 탄소공구강판재(SK5)와 냉간압연강판재(SPCC)를 접합하는 가공대상에 대해서 defocus량, 열처리온도, 레이저출력 등의 용접조건과 용접강도 그리고 금속조직 등의 관계를 실험적으로 검토한 바 있다.¹¹⁾ 이와 같이 YAG레이저를 이용한 소형전자부품용소재의 용접에 관한 기초연구는 상당히 적은 실정이다.

본 연구는 YAG레이저에 의한 이종판재의 최적용접을 구하기 위한 기초연구로서 최근 소형전자부품에 주로 이용되고 있는 spring용판재로서 내마모성, 피로강도 및 경계성이 뛰어난 탄소공구강(SK5)을 각각 스테인레스강(SUS 304), 인칭동(PBS) 등의 각종 합금판재와 조합해 spot용접을 행하여 spot용접에 의한 이종판재의 접합강도를 레이저의 조사조건(조사에너지, pulse폭, defocus량)과 용접부근방의 미세조직변화 및 경도변화와 관련하여 YAG레이저에 의한 이종판재의 최적용접조건을 구하는데 그 목적이 있다.

2. 실험 방법

2-1. 실험장치

본 연구에서 사용된 레이저용접기는 Table 1에서와 같이 일본 NEC사의 pulse 발진 Nd-YAG레이저(SL124B)로 최대출력 73J/pulse, 발진파장 1.06 μ m의 특성을 지니고 있다. 레이저장치는 Nd-YAG레이저와 레이저비입을 집광하는 광학계 및 능률화, 고속화를 꾀하기 위해 설치된 로보트(Model-C)와 이것을 제어하는 제어장치로 구성되어 있다. 레이저의 출력은 YAG레이저의 pulse폭을 변화시킴으로서 제어한다. Pulse폭은 콘덴서와 초크코일로 구성되어 있

Table 1. Laser system and experimental conditions

Laser Symsem(Nd:YAG Laser: NEC SL 124B)	
Wave Length	: $\lambda = 1.06\mu\text{m}$
Maximum Output	: $\mathcal{E} = 73\text{J/Pulse}$
Pulse Duration	: $\tau = 0.2 \sim 10\text{msec}$
Focal Length of Lens	: $F = 45\text{mm}$
Experimental Conditions	
Irradiated Energy	: $\mathcal{E} = 17\text{J} \sim 37.5\text{J}$
Pulse Duration	: $\tau = 3 \sim 9\text{m sec}$
Amount of Defocus	: $0 \sim 2\text{mm}$

는 pulse회로에 있어서 콘덴서 용량을 조절하면서 설정할 수 있다. Defocus량은 비임직경확대경렌즈에 의해 가변할 수 있고 판두께에 대응한 촛점위치를 설정할 수 있다. 이 경우 집광렌즈의 촛점거리는 45mm이다.

2-2. 시편과 실험방법

본 실험에서 사용된 소재는 탄소공구강(SK-5), 스테인레스강(SUS 304), 인칭동(PBS)으로 이들 소재의 화학조성은 Table 2에 표시한 바와 같다. 상부 판재로 이용한 판의 두께는 탄소공구강의 경우 0.2와 0.4mm 판재를, 스테인레스와 PBS의 경우는 0.4mm의 판재만을 사용했다.

용접후 판재의 접합강도를 조사하기 위한 인장시험편의 형상은 Fig. 1과 같다. 여기서 접합강도는 인장전단법에 의한 전단강도를 각각의 시험조건에서 시험편 5개에 대해 인장시험을 행하여 5개 시험편의 인장강도의 평균치로 구한 값이다.

용접후 용접부위의 표면 및 단면에 대한 조직관찰은 광학현미경 및 주사전자현미경으로 행하였다. 용접후 용접부위의 종단면의 조직변화에 따른 경도분포는 마이크로비커스경도계(하중 200g)로 측정했다.

Table 2. Chemical compositions

Materials	Chemical compositions(wt%)							
	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	
Carbon Steel(SK5)	0.80~0.90	<0.5	<0.35	<0.03	<0.01	—	—	bal
SUS 304	0.09	2.00	1.00	0.04	0.03	8~10	18~20	bal
PBS		Sn 8.5		P 0.15		Cu	bal	

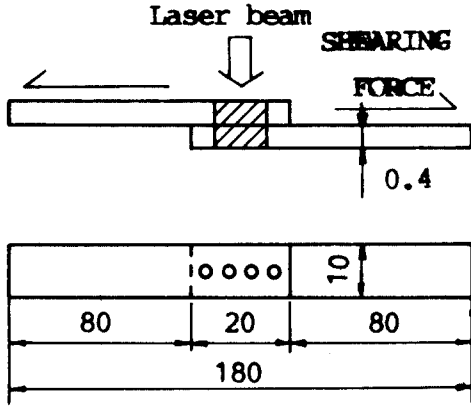


Fig.1. Welded specimen and shearing direction.

3. 결과 및 고찰

3-1. 조사조건과 접합강도

Fig.2는 SK5/SUS304판재를 24J/pulse의 파워에서 pulse폭을 변화시켜 용접한 후의 접합강도를 나타낸 것이다. 이 결과로부터 pulse의 폭이 길어짐에 따라 접합강도가 증가하여 상부판재의 두께가 0.2, 0.4mm 인 경우 pulse폭 9ms로 용접한 판재가 3ms로 용접한

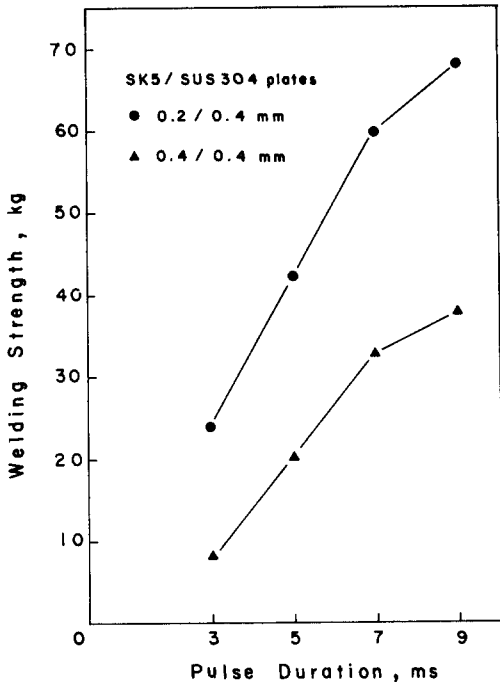


Fig.2. Relations of welding strength to variation of pulse duration in SK-5/SUS304plates, with different thickness, spot-welded under laser power 24J/pulse.

판재에 비해서 전체적으로 접합강도가 거의 3배 가까이 증가한 것을 알 수 있다.

이와 같이 pulse폭의 증대에 따른 접합강도의 증가원인은 24J/pulse의 레이저파워하에서 레이저비입이 용접부위에 조사중 pulse폭 9ms의 경우 용접부 표면에 발생된 열은 pulse폭이 길기 때문에 표면으로부터 하부판재에 전달되어 용융부가 넓어져 접합면적이 커지는 반면에 pulse폭 3ms의 경우 용접부위는 pulse폭이 짧기 때문에 레이저비입에 의해 흡수된 열의 대부분은 용접부의 표면을 증발시키는데 이용될 뿐 판재내부에 열전달이 원활히 이루어지지 않으므로 용융부의 감소에 따라 판재간의 접합면적이 작아지기 때문이다. 따라서 레이저파워가 작아도 pulse 폭이 짧은 경우 용접부의 중앙에 큰 공동부가 발생하는 경우가 많다. 그 일례로서 Fig.3은 SK5/SUS304(0.4/0.4mm) 판재를 17J/pulse의 파워에서 pulse폭 3ms로 용접한 후 용접부위의 조직사진이다.

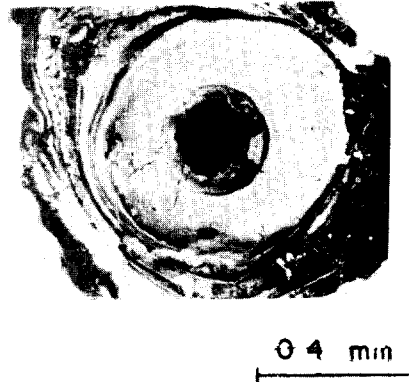


Fig.3. Appearance of SK-5/SUS304 plates(0.4/0.4 mm) spot-welded under laser power 17J/pulse, pulse duration 3ms.

이 사진에서 알 수 있듯이 온도가 가장 높은 용접부의 중앙부에 커다란 공동부와 그 주위에 미세한 균열이 방사상으로 발생되어 있는 것을 알 수 있다.

Fig.4는 SK5/SUS304(0.4/0.4mm)의 판재를 42.5J/pulse의 파워에서 pulse 폭은 3ms로 용접한 후 용접부위의 종단면의 조직사진으로 상부판재로부터 하부판재에 걸쳐 공동부가 원통상으로 관통되어 있는 것이 관찰된다. 이와같이 pulse폭을 짧게하고 레이저 파워를 크게할 경우 판재의 용접가공보다는 hole가 공 등에 적합한 것을 알 수 있다. 상부판재의 두께의 영향에 있어서는 Fig.2와 같이 상부판재의 두께가 두꺼울수록 접합강도가 전반적으로 낮아지는 것을 알 수 있다. 이것은 레이저비입조사중 용접부의



Fig. 4. Longitudinal section of SK-5/SUS304 plates (0.4/0.4mm) spot-welded under laser power 42.5J/pulse, pulse duration 3ms.

표면으로부터 용융층의 폭이 점차로 감소하기 때문에 24J/pulses의 레이저 파워하에서 상부판재의 두께가 0.4mm인 경우 0.2mm에 비해서 접합면적이 작아지기 때문이다. 이와 같은 결과는 YAG레이저에 의한 Al판재의 접합특성에 관한 연구에서 용접부위의

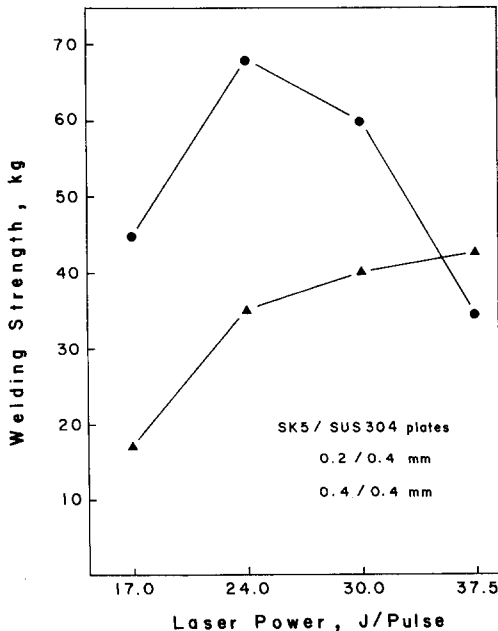


Fig. 5. Relations of welding strength to various laser powers in SK-5/SUS 304 plates, with different thickness, spot-welded under pulse duration 9ms.

표준용융현상으로부터 밝힌 연구결과와 같은 경향을 나타내고 있다.¹⁰⁾ Fig. 5는 SK5/SUS304판재를 pulse 폭 9ms로 하고 레이저파워를 변화시킬 경우 접합강도의 변화를 나타낸 것이다. 24J/pulse의 레이저파워까지는 상부판재의 두께가 0.4mm까지는 판두께에 관계없이 접합강도가 증가하지만 상부판재가 0.2mm인 경우 30J/pulse 이상의 레이저파워에서는 접합강도가 레이저파워의 증가와 더불어 크게 감소하는 반면 상부판재가 0.4mm인 경우 37.5J/pulse까지 증가한다. 이것은 SK5/SUS304(0.4/0.4mm) 판재를 pulse 폭 9ms에서 소정의 레이저파워로 용접한 후의

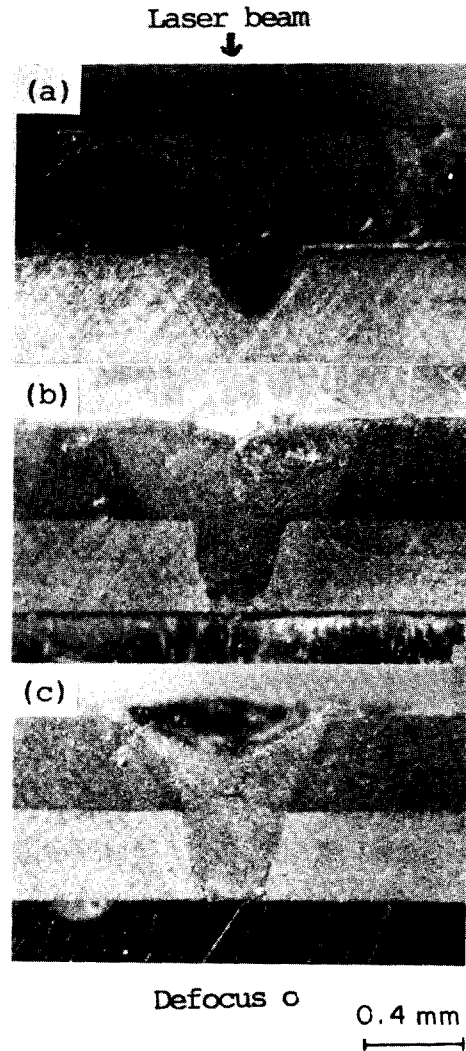


Fig. 6. Longitudinal sections of SK-5/SUS 304 plates (0.4/0.4mm) spot-welded under various laser powers. (a) 24J/pulse, (b) 30J/pulse, (c) 37.5J/pulse

조직사진인 Fig. 6(a), (b), (c)에서 알 수 있듯이 레이저파워가 커짐에 따라 용융면적의 증가에 따른 판재간의 접합면적이 넓어져 접합강도가 상승한 반면 37.5J/pulse의 큰 레이저파워에서는 상부판재에 큰 공동부와 균열이 발생된 것을 알 수 있다. 따라서 0.2mm의 상부판재를 사용할 경우 30J/pulse 이상에서의 접합강도의 저하원인은 Fig. 6(c)에서 관찰되듯이 상부판재의 표면으로부터 0.2mm 깊이까지 커다란 공동부와 균열이 발생되어 접합면적이 작아졌기 때문인 것으로 사료된다.

3-2. Defocus량과 접합강도

Fig. 7은 SK5/SUS304판재를 pulse폭 9ms로 하고 레이저파워, defocus량을 변화시킨 경우 접합강도의 변화를 나타낸 것이다. 이 결과 defocus량이 -1에서 +1까지의 범위에서는 상부판재의 두께가 0.2mm와 0.4mm 모두 증가하는 경향이 있으며, 특히 상부판재의 두께가 0.2mm인 경우 전반적으로 30J/pulse의 레이저파워까지는 defocus량의 증가에 따라 접합강도가 증가해 defocus량이 +2mm인 경우 최대의 접합강도를 나타낸다.

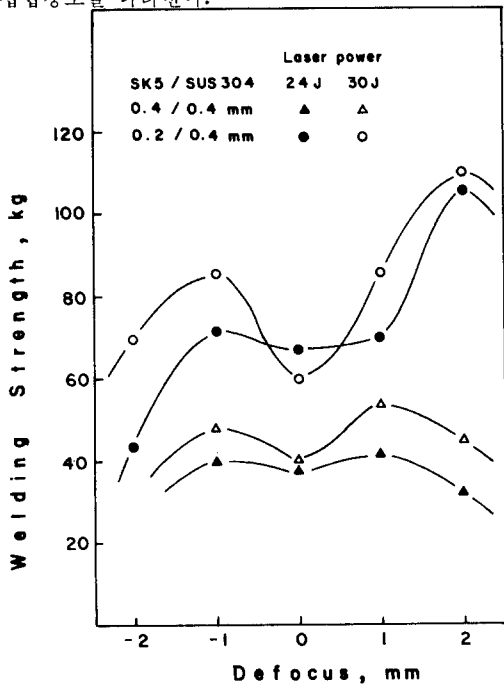


Fig. 7. Relation of welding strength to variation of defocus amount in SK-5/SUS 304 plates spot-welded under pulse duration 9ms

이것은 Fig. 8(a), (b), (c)에서 관찰되듯이 defocus량이 커지면 레이저비임 spot가 넓어져 레이저비임
大韓熔接學會誌, 第6卷, 第1號, 1988年 3月

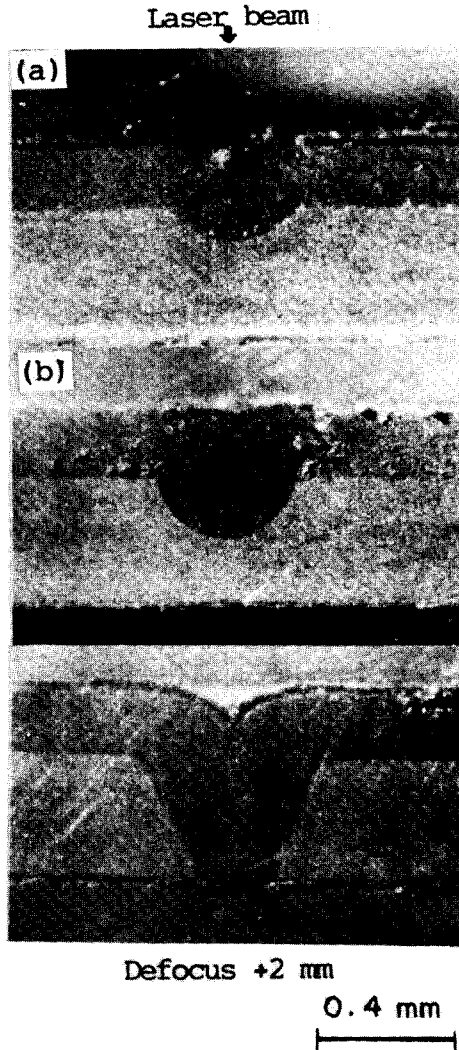


Fig. 8. Longitudinal sections of SK-5/SUS 304 plates (0.2/0.4mm) spot-welded under various laser powers: (a) 17J/pulse, (b) 24J/pulse, (c) 30J/pulse

에 의한 용융부면적이 레이저파워가 클수록 넓어져 판재간의 접합면적은 커지는 반면 용융부의 깊이는 defocus량이 커질수록 레이저파워밀도가 작아지기 때문에 낮아진다. 따라서, 상부판재가 두꺼우면 상부판재와 하부판재간의 접합부분까지 용융이 이루어지지 않는 경우도 있다.

그러므로 상부판재로서 두꺼운 판재를 사용할 경우 defocus량을 크게하려면 레이저파워를 증대시켜야만 접합강도의 향상을 꾀할 수 있다.

Table 3. Microstructure change vs. welding conditions (laser power, pulse duration combination of plates)

시료	출력			17J				24J				30J			37.5J	
	Pulse 폭(ms)			3	5	9	3	5	7	9	5	7	9	7	9	
SK-5/SUS 304 0.4mm/PBS	C.M	O	O	C.S	C.S	O	O	C.L	O	O	C.S	V	C.S	V		
	C.L	C.M	O	V	C.L	C.M	O	C.L	C.L	C.L	C.S	C.L	C.S	C.L		
SK-5/SUS 304 0.2mm/PBS	V	O	O	V	V	C.M	O	V	V	C.S	V	V	V	V		
	V	C.L	C.M	V	C.L	C.L	C.M	V	C.L	C.L	V	C.L	C.L	V		

C.S: Crack Small, C.M: Crack Medium, C.L: Crack Large, O: 결함무, V: 공동부

3-3. 미세조직과 경도변화

Table 3은 레이저파워, pulse폭, 상부판재의 두께를 변화시켜 SK5/SUS304, SK5/PBS 판재를 용접한 후 용접부위의 미세조직을 총괄하여 나타낸 것이다. 용접후의 용접부위의 조직변화는 공동부와 균열이 동시에 발생한 것, 균열만 발생한 것, 공동부만 발생한 것, 결함이 발생하지 않은 것 등으로 구분된다. 여기서 용접부위의 균열과 공동부의 발생은 레이저파워가 크고, pulse폭이 짧을수록 현저해지는 경향이 있는 것을 알 수 있다. 특히 판재의 조합에 있어서 하부판재를 열확산율이 큰 인철동(PBS)을 사용

할 경우 균열의 정도가 커지는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 SK5/PBS판재를 30J의 레이저파워에서 pulse 폭 9ms로 용접한 후의 조직으로 용접후 표면에 발생한 용접균열의 대표적인 일례를 표시한 것이다. 그림에서와 같이 커다란 균열이 용접부위의 중앙으로부터 외각에 걸쳐 방사상으로 생겨있고 균열이 구상 Cementite 결정입계에 생긴 특징적인 고온균열이 관찰된다. 이와 같은 용접후의 고온균열발생원인은 레이저비입에 의해 용접부에 전달되는 열이 용접부 중앙에서 최대가 되어 용접부 주위에 전달되는 것으로 하부판재가 인철동(PBS)인 경우 열확산율이 SUS304 스테인레스강보다 7배가량 크므로 하부판재를 SUS 304스테인레스강을 사용할 경우에 비해서 용접부위의 가열-용융-냉각과정에 있어서 빠른 냉각속도에 따른 큰 잔류응력으로 인해 입계에 편석한 탄화물의 연성이 저하되기 때문이라고 사료된다. 이와 같은 탄화물의 연성저하에 따른 고온균열은 SK5/SPCC(냉간압연강판) 판재를 용접한 후 균열부위에 대해 EPMA분석결과 균열부위에서 C원자가 현저하게 편석되어 있는 것을 확인한 마쯔나가¹¹⁾ 등의 연구결과로부터 추측할 수 있다.

Fig 10(a), (b)는 SK5/SUS304 판재를 30J, 9ms, defocus량 +2mm의 조건하에서 용접한 시편의 종단면의 경도분포를 표시한 것이다. 이 결과로부터 용접후의 용접부위 중앙의 용융부는 상부에서 하부로 갈수록 경도가 크게 저하되는 점으로 보아 레이저비입 조사중 용융층의 폭이 표면으로부터 점차로 감소하는 것을 알 수 있다.



Fig. 9. Appearance of SK-5/PBS plates(0.2/0.4mm) spot-welded under laser power 30J/pulse, pulse duration 9ms.

4. 결 론

YAG레이저에 의해 spot 용접을 행한 작용 합금판재의 집합강도에 미치는 레이저의 조사조건, 이종판재의 조합, 상부판재의 두께 등의 인자의 영향에 대

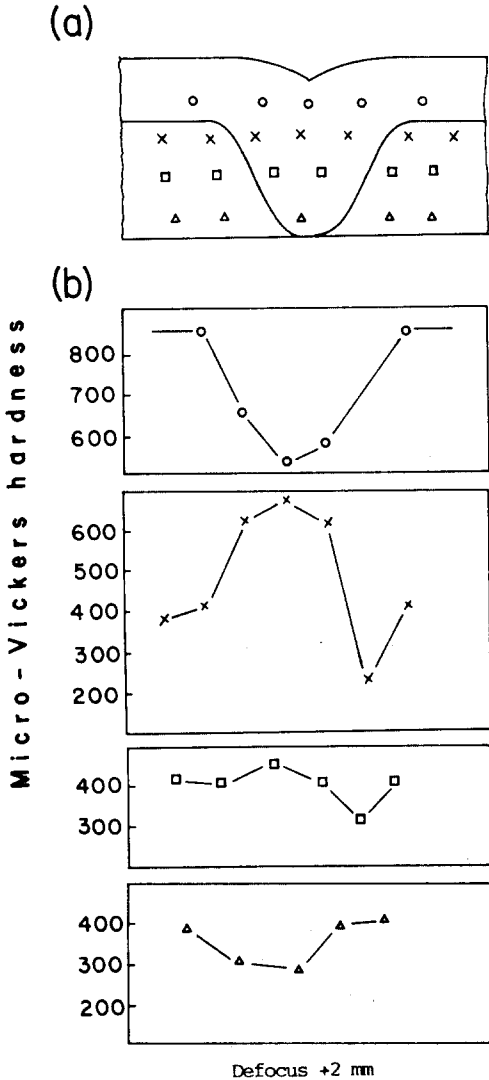


Fig. 10. Distribution of microhardness in welded section of SK-5/SUS 304 plates (0.2/0.4 mm) welded under laser power 30J/pulse, pulse duration 9ms.

하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 레이저용접 후 용접부위에는 커다란 공동부와 균열 등의 용접결함이 관찰되었다. 특히, 공동부의 발생은 pulse duration이 짧고 레이저파워가 클 경우

발생하기 쉽고 균열의 발생은 하부판재의 열확산율의 정도에 따라 크게 좌우되는 것을 알았다.

2. 용접후의 판재의 접합강도는 레이저파워가 크고 pulse duration이 짧고, 상부판재의 두께가 얇을 경우 큰 공동부의 발생에 따른 판재간의 접합면적감소 때문에 현저하게 저하되는 경향을 나타냈다.

3. Defocus량의 조절은 상부판재가 0.2mm인 경우 pulse duration 9ms 하에서 레이저파워 30J/pulse까지는 접합강도가 증가하는 경향을 나타냈다. 즉, 접합강도가 defocus량 0에 비해 defocus +2mm에서 2배 이상 증가하였다.

후 기

본 연구를 수행하는데 있어서 YAG 레이저 Spot Welding장치를 이용하는데 적극적인 후원을 해 주신 日本Bell parts(株)의 西畑 三樹男 博士에게 감사드립니다.

References

1. J. R. Loeffler: Assembly Engineering, March, 1977.
2. F. P. Gagliano: SME Technical Paper, MR 74-571. pp.682-684.
3. J. A. Fox: Applied physics Letter, Vol. 26, No. 12, 15 June 1975, pp.682-684.
4. O. A. Velichko, et al., : Avt, Svarka, No. 10, 1974, pp.19-21.
5. S. R. Bolin and E. T. Maloney: SME Technical Paper, MR 75-571.
6. J. Seretsky and E. R. Ryba: Welding Research Supplyment, July 1976, pp.208-211.
7. C. G. Hoffman: J. of Applied Physics, Vol. 45, No. 5, May 1974, pp.2125-2128.
8. Engle, S. L. : Laser Focus, December 1978.
9. 杉山治男 外: 精密機械, 42. 6(1976), p. 485
10. 渡部武弘: 精密機械, 49. 8(1983), p. 87.
11. 松求和夫: 精密機械, 49. 10(1983), p. 66.