

## 金型内の 레이저에 의한 珪素鋼板 積層加工에 관한 研究 (Study of LASER lamination with die.)

강형식\* 박인태\* 박흥식\*\* 전태욱\*\*

- \* LG전자 생산기술센터
- \*\* 동아대학교

### Abstract

The technology of LASER lamination joining of silicon steel sheets has been studied in this paper. Conventional sheets lamination process does not meet the requirements for the improvement electric parts performance. In response to this, a new LASER spot joining method has been developed.

This study performs the LASER spot lamination joining while synchronizing the silicon steel sheets in the dies with the press movement. Several conclusions have been drawn in this paper. Effects of beam focus, power, atmosphere gas and press oil etc.

## 2. 實驗材料 및 實驗方法

### 2.1 實驗材料

본 研究에서 使用된 材料는 板두께 0.5mm의 市販用 珪素鋼板인 S18, S30, S60 으로 化學的 成分 및 機械的 性質을 Table 1., 2. 에 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of commercially silicon steels.

|      | Composition (%) |     |     |       |       |
|------|-----------------|-----|-----|-------|-------|
|      | C               | Si  | Mn  | P     | S     |
| S 18 | 0.01            | 3.0 | 0.2 | 0.015 | 0.005 |
| S 30 | 0.01            | 1.5 | 0.3 | 0.015 | 0.01  |
| S 60 | 0.01            | 0.5 | 0.3 | 0.015 | 0.01  |

Table 2 Material properties of commercially silicon steels.

|      | Yield strength<br>(Kgf/mm <sup>2</sup> ) | Elongation<br>(%) | Hardness<br>(Hv) |
|------|--|-------------------|------------------|
| S 18 | 47.5                                     | 34.0              | 168              |
| S 30 | 43.23                                    | 35.0              | 143              |
| S 60 | 36.8                                     | 36.8              | 126              |

LASER 加工은 LASER BEAM을 LENS 또는 反射鏡으로 集光시켜서 얻어지는 높은 POWER 密度的 빛을 利用하는 加工法으로 材料接合, 物質除去, 薄膜形成 및 表面改質등 여러種類의 加工이 可能하다.<sup>(1, 2)</sup>

近年, LASER 加工 技術의 發展에 따라 高機能, 高附加價値製品의 加工, COMPACT化, LOW COST化 및 設計를 單純化하는데 利用되고 있으며, 製品 및 部品の MARKING TRIMMING, CUTTING, DRILLING, JOINING, REPAIRING등 廣範位하게 生産 LINE에 導入되고 있다.<sup>(3-5)</sup>

일반적으로 電機, 電子機器 分野에서의 基幹部品으로 되어 있는 MOTOR, TRANSFORMER 및 磁氣 HEAD 部品 등의 加工을 지금까지 生産 指向의 工法으로 金型에서 打抜한 部品을 手作業으로 積層하여 熔接하거나 機構的인 接合(CAULKING) 방식에 의해 製作되고 있는 실정이다. 이러한 工法들은 變形에 의한 精度低下, 磁力損失, 絶緣 등의 問題點이었다. 여기에 대해 最近에는 高精度, 高效率化, 高品質化의 目的으로 LASER 加工方法이 應用되어 새로운 製造 工法이 開發되고 있다.<sup>(6, 7)</sup>

本 研究에서는 電機, 電子分野의 素材로 주로 利用되고 있는 珪素鋼板의 積層 製造 工法으로 PRESS 金型內에서 打抜 加工과 同時에 LASER 積層(Lamination) 加工을 一體化시켜 LASER Beam 加工에 대한 實驗的 研究 및 積層 金型에 대한 技術 開發上의 課題를 檢討하고 分析 하였다.

## 2.2 實驗方法

### 2.2.1 實驗裝置

본 研究에서 使用된 LASER 裝置는 日本 M社製 Nd-YAG LASER 裝置 (Model : ML2600B) 이고 裝置의 外觀 寫眞을 Fig.1에 나타내었다. 이 裝置는 波長  $1.064\mu\text{m}$  에 Multi-mode 의 Beam 으로 最大 400 W 의 LASER 照射가 可能하다. 金型 加工用 Press는 國產 J社製 Eccentric press 로서, 最大荷重은 50 Tons으로 Fig.2와 같으며 Fig.2의 "A" 가 LASER 出射裝置가 수납된 LASER 積層用 金型이다.

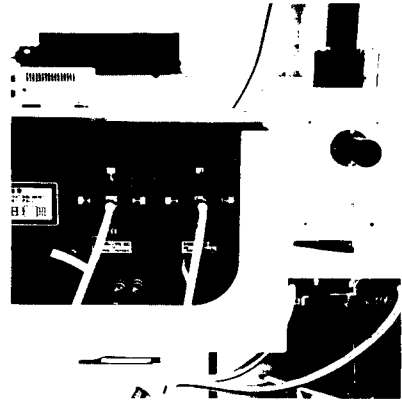


Fig.1 Photograph of Nd-YAG LASER machine.

### 2.2.2 積層Press 金型構造 및 積層方法

LASER 積層 Press金型的 構造는 Fig.3과 같으며, 일반 Press 金형 구조에 LASER 照射를 실현하기 위하여 LASER 出射裝置가 부착 가능한 金형을 설계, 製作한 것으로 Press 金형 作業과 동기화시킨 상태에서 LASER 照射가 이루어지는 System을 구성하였다. 金형에서 1회 타발에 따라 積層소재에 1회 照射되도록 ① 金형의 타발, ② 부품의 積층, ③ LASER 照射의 3가지 기능을 복합화한 것이다. 또한 Controller에 의해서 지정된 매수의 결정 및 積층수량을 조절하여 LASER Spot照射가 되도록 구성하였다. LASER Beam 出射裝置는 Press 金형의 내부 양측 단에 설치하였다.



Fig.2 Photograph of press machine and die.

### 2.2.3 制御回路

制御回路 構成은 Fig.4와 같으며 Press에 설치한 근접 Sensor를 통하여 Punch 하사점의 위치신호를 받아 들여 Controller 에서 LASER Beam 出射신호를 발생시킨다. 이에 따라 LASER 발진기에서 발진된 LASER Beam은 光 Fiber를 통하여 전송되고 出射장치에 의해서 出射됨으로서 Press 金형에서 1회 타발에 따른 1회의 LASER Spot 照射가 가능하게 된다. 이때 積層된 소재 사이의 원활한 분리를 위해 분리시점에서는 LASER beam 의 出射가 이루어지지 않도록 구성되어있다.

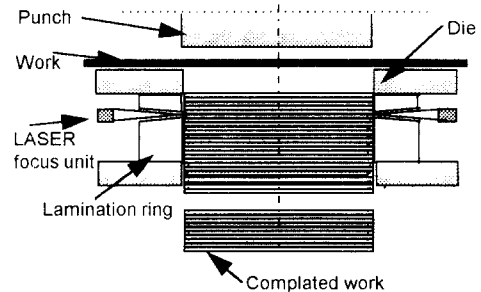


Fig. 3 The schematic view of LASER lamination die.

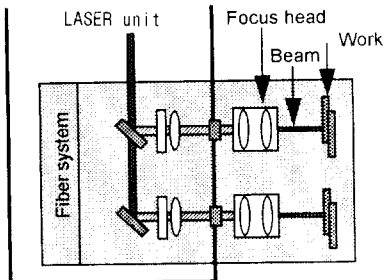


Fig. 5 The system of optical fiber and focusing head at LASER unit.

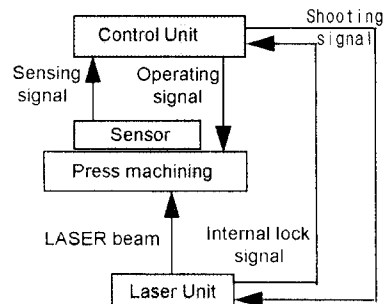


Fig.4 The schematic view of control systems

## 2.2.4 光 Fiber 및 出射裝置

금형에서 블랭킹되는 소재를 대칭으로 양단에 접합하기 위하여 2개의 분할 출력 시스템을 구성하는 형식으로 LASER 발전기에서 전송되는 Beam을 1/2 반사Mirror를 통하여 2개소에서 각각 반사시켜 전송되는 LASER Power를 1/2화 하였다. 분기된 2개의 Beam연결은 LASER 가공기와 Press 금형과의 Remote화 하여 설치의 용이성 및 ND-YAG LASER 가능한 光 Fiber System을 적용하였다. 길이 10 m의 光 Fiber (석영, GI Type,  $\phi$  0.6 mm)를 통하여 전송되고 출사장치를 거쳐 Beam이 출사된다. 출사부에서는 LASER beam 가공시 발생하는 Spatter 및 Fume을 방지하기 위하여 Shield Glass를 설치 하였고, LASER beam과 동축을 이루도록 한 Nozzle을 통하여 Ar gas 및 Air를 각각 30 l / min로 공급되도록 구성하였다.

## 2.2.5 積層實驗 條件

LASER 가공은 다양한 Parameter에 의해 영향을 받는다. LASER 접합의 경우는 특히 Power, 초점거리 및 보조 가스의 영향이 지대하게 미치므로 본 실험에서는 이들 3가지를 주요 Parameter 로 선정하여 Table 3 과 같이 실험을 수행 하였다.

Table 3 LASER lamination test parameters.

| Parameters           | Conditions          |
|----------------------|---------------------|
| 1. LASER power (J/S) | 3.0 ~ 7.5           |
| 2. Focus length (mm) | Focus / Defocus(+1) |
| 3. Atmosphere        | Ar Gas, Air         |

## 3. 實驗結果 및 考察

### 3.1 초점거리 및 Power의 영향

규소강판(S 60)에 대해서 Fig. 6은 LASER spot 접합부의 용입깊이(Penetration)에 미치는 초점거리의 영향을 나타내었다. 그림중의 점선부는 심용입형 용융부와 열전도형 용융부의 경계선을 표시하고 있다. 그림에서 Focus 상태에서 초점거리를 이동시켜 Defocus조건을 따라 용융부의 용입깊이를 나타내고 있다. Focus의 변화에 따라 용입깊이는 완만하게 낮아지는 것을 알수있다. 특히, Focus 상태에서 용입깊이가 가장 깊게 나타나나 용융부중심에 Crater가 형성되면서 격렬한 금속의 증발현상과 용입

형상이 불안정하다. Defocus 8 mm 이상에서는 열전도형 용융부를 형성한다.

Fig. 7 및 8은 출력 Power에 따른 LASER spot의 표면직경 및 용입깊이가 증가하고 있다는 것을 알수있다. 여기서 Defocus 거리는 +1mm 이다. Focus 상태에서는 앞서 Fig. 6에서와 같이 Crater 등 불안정한 현상을 확인할 수 있고, Defocus +1mm 부근에서는 안정된 표면형상 및 용입 깊이가 얻어진다.

Fig. 9 는 LASER spot 접합에 의한 적층강도에 미치는 출력 Power의 영향을 나타내었다. 통상 Motor 부품인 State core 적층에서는 Caulking에 의한 적층강도는 약 2 kgf 이상을 규정하고 있으나 본 공법에서는 4kgf 이상이고 출력 Power가 증가할수록 적층강도가 증가함을 알 수있다. 출력 Power가 6.5 J/S 이상에서는 Spatter의 비산이 심하고 다량의 Fume도 발생되었다. 따라서 본 실험에서 접합부의 건전한 적층강도를 고려한 출력 Power 구간은 4.0~5.2 J/S 가 적정함을 확인하였다.

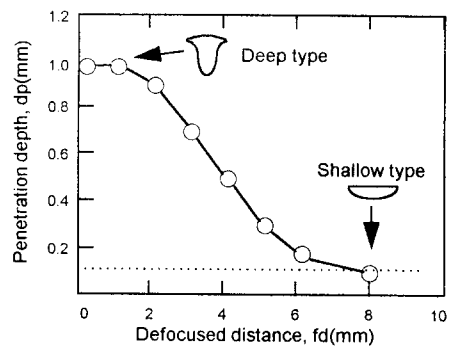


Fig. 6 Effects of penetration depth with focus distances.

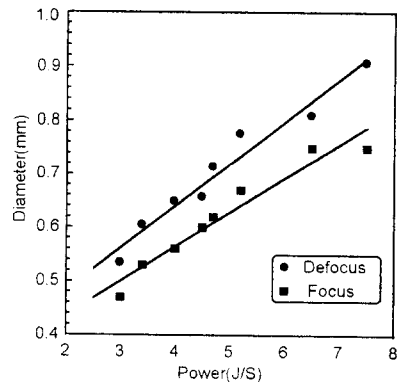


Fig.7 Effects of diameters with LASER power.

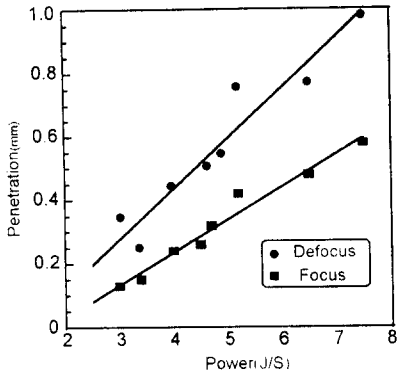


Fig. 8 Effects of penetration with LASER power.

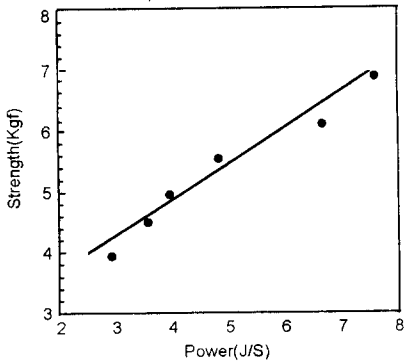


Fig. 9 Effects of lamination force with LASER power.

### 3.2 보조 Gas의 영향

Fig. 9 에서는 규소강판의 각 소재별 (S 18, S 30, S 60)로 보조가스 (Ar gas, Air)를 노즐의 동측으로 공급하여 분위 차이에 의한 영향을 평가하기 위한 것으로 동일한 LASER의 출력 Power 5.2J/S로 실험한 결과를 적층강도값으로 나타내었다. 적층강도는 Air 공급분위기의 경우가 편차가 큰 범위에서 변동하고, 평균치의 크기는 큰변화 없이 유사하며 Ar gas, Air 모두 2 Kgf/point의 강도값을 상회하여 Ar gas를 사용하는것보다 Air를 사용하는 것이 유리한것으로 판단된다. 한편 분위기에 관계없이 소재별 강도에 있어서는 S 60, S 30 및 S 18의 순으로 적층강도가 증가한다. 이는 소재에 함유된 Si량에 때문이다. Fig. 11 은 LASER 접합부의 단면사진을 나타내고 있으며 Bonding line 은 전형적인 Wine cup 형상을 이루고 있다. Air분위기 (a)와 Ar gas분위기 (b)에서 용입깊이를 비교해 볼때 Air 공급 상태의 조건에서 용입깊이가 깊다는 것을 알수있다. 이는 공기중의 O<sub>2</sub>가 흡수되면서 산화가 쉽게 일어나는데 그 원인이 있는것으로 추정된다.

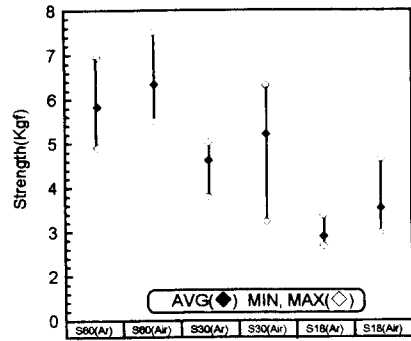
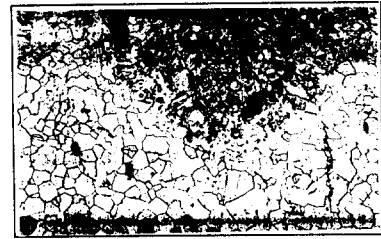
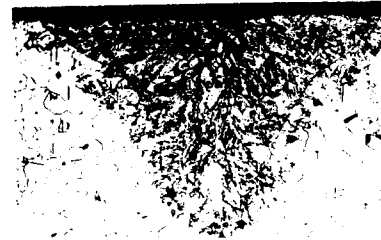


Fig. 10 Tensile force with materials.



(a)



(b)

Fig. 11 Cross-sections of nugget center (a) Ar gas (b) air

### 3.3 Press oil의 영향

Press 가공에 있어서 고속화 및 금형의수명을 연장시키기 위하여 보통 Press oil을 금형 또는 소재에 도포한다. 따라서 Fig. 12은 Press oil (일반Oil, 속건성Oil)의 영향을 평가하기 위하여 S 60 소재를 대상으로 Air분위기에서 LASER출력 Power 5.2J/S로 실험한결과를 나타낸것다. 적층강도 및 접합부의 표면적경의 크기는 일반Oil이나 속건성Oil에 관계없이 유사하나 용입깊이는 속건성Oil을 사용한 경우가 더욱 깊게 나타난것을 알수있다. 이것은 LASER 접합이 금형 내부에서 이루어지므로 일반Oil을 적용할때 소재표면에 잔류하여 Blow hole 및 다량의 Fume을 유발시켜 LASER Beam의작용을 방해하고, 속건성Oil의 경우 타발후 조기에 Oil성분이 증발되기 때문에 용입깊이가 깊게되어 부착된 Oil에 기인하여 접합강도에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

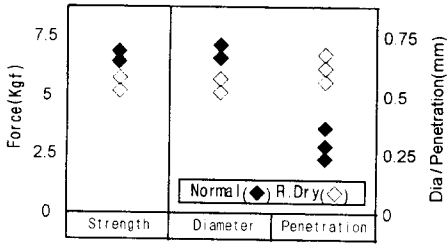


Fig.12 Comparison of normal and rapid dry press oil.

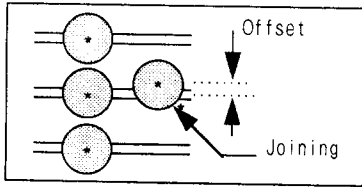


Fig.13 The schematic view of offsets.

### 3.4 적층부의 Offset 영향

금형에서 LASER 접합에 의한 적층가공시 소재의 두께 변화, Press oil에 의한 유막 및 오염도에 따라서 소재 1枚당 대개 1~3 $\mu$ m의 공차를 수반한다. 수  $\mu$ m의 공차로 수십매에 적용하는 경우 누적오차를 감안하면 적층부의 위치가 변하게 된다. Fig. 13은 적층위치의 Offset형상 구조를 나타내었다.

Fig. 14는 이러한 적층위치의 변화를 평가하기 위해서 소재내에서 접합되는 위치를 변화시키면서 강도에 미치는 영향을 분석한것이다. 적층매수 40매의 경우 약 0.2 mm의 Offset이 발생한 경우는 정확한 위치에 접합된 경우에 비해서 74%수준의 적층강도를 나타내고 있으나 약0.25mm 이상의 Offset에서는 급격한 적층강도감의 하

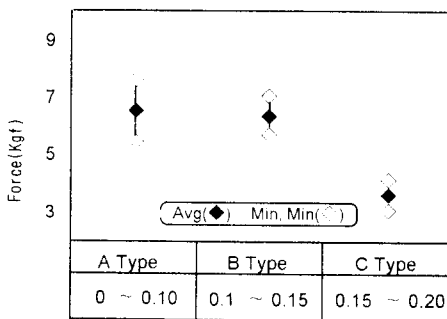


Fig.14 Lamination force on the offsets.

락을 보여주고 있다. 따라서 적층강도는 소재의 두께 0.5 mm t에 대하여 약 30% 수준인 0.15 mm 정도에서는 양호하였다.

## 4. 結 論

본 연구에서는 0.5mm t 규소강판의 積層加工을 Press 금형내에서 금형가공과 동시에 LASER 가공을 일체화 한 LASER 적층금형에서 LASER Beam Parameter 및 금형가공의 영향등을 비교, 분석하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) LASER beam 을 Focusing 하여 照射시 Crater 발생 및 용입이 불안정하므로 射出裝置는 Defocusing 하는 것이 바람직하다.
- 2) LASER의 출력 Power의 증가와 함께 적층강도의 향상을 보이거나 과도한 증가는 다량의 Spatter 및 Fume이 발생된다.
- 3) LASER 射出시 공급되는 보조가스는 Ar gas 보다 Air 를 공급할 경우가 용입깊이가 깊고, 또한 규소의 함량이 적을수록 적층강도가 높다.
- 4) Press oil은 속건성 oil이 일반 oil을 적용한 경우보다 적층강도가 양호하다.
- 5) 적층 목표점의 오차인 Offset은 소재두께의 30% 정도 내에서는 적층강도의 변화가 없음을 확인하였다.

## 參考文獻

1. A. Matsunawa, Presentation and future trends of LASER materials processing, ISOE, 1994
2. レーザ學會, レーザハンドブック, オーム社, 1992
3. 宮崎 俊行ら, レーザ加工技術, 産業圖書, 1991
4. 川邊 轉通ら, レーザ加工技術, 日刊工業新聞社, 1991
5. 西澤 敬次, YAG レーザによる 熔接.工程への應用自動化技術, 1989
6. C. Zutao etal, The aplication of LASER welding in the electric motor stators and rotators, LAMP pp. 999-1001, 1992
7. 河野泰久, モータコアの精度向上と小型化を實現した レーザPAC工法, 型技術, Vol. 10, No. 1, pp. 95-101, 1995