

工場電氣의 最新技術

레이저의 加工應用

前回は 레이저의 應用技術의 基礎로서 레이저란 무엇인가, 레이저光의 特徵, 레이저의 種類에 대해서 記述했으나, 이번號에서는 레이저의 應用으로서 加工應用에 대해 記述하기로 한다.

1. 레이저應用技術의 概要

레이저光은 人工的으로 만들어진 光이며, 다음과 같은 特徵을 갖고 있다.

(1) 時間的 카피렌즈가 높다.

이말은 單色性, 즉 波長 或은 周波數가 極히 明確한 빛이라는 뜻으로서 (스펙트르幅은 1MHz程度) 數10미터의 可干涉거리를 얻을 수 있다.

(2) 空間的 카피렌즈가 높다.

이말은 레이저빔의 指向性이 높으며, 빔을 集光시키는 것이 容易하다는 것으로서, 例로 He-Ne 레이저의 경우, 出力 빔의 直徑이 1mm라고 한다면 100m를 날라도 直徑 6cm밖에 벌어지지 않는다.

(3) 에너지密度가 높다.

CO₂ 레이저로서는 連續出力 10kW클래스의 것이 있다. 또 平均出力은 작아도 指向性과 單色性이라는 特性때문에 작은 빔面積에 높은 에너지를 集中시킬 수 있으며 10^9 W/cm^2 의 에너지密度를 얻을 수 있다. 또 時間的 콘트롤도 쉬우며, 10^{-12} 秒 정도의 펄스를 만들 수도 있다.

以上の 特徵을 組合하여 여러가지의 應用이 이루어지고 있다. 이를 分類하면 表 1과 같이 된다.

大別하면 通信·情報處理·計測·制御·加工이 된다.

表 2는 技術分野에서 본 應用分類이다.

通信의 分野에서는 有線케이블通信은 陸上, 海底

〈表- 1〉 레이저光의 特徵과 應用例

特 徵	利用하는性質	應 用 例
높은時間的 카피렌즈	單 色 性	길이의 基準, 光通信, 分光分析
카피렌즈	可干涉性	干涉計測, 프로파일러, 스페클應用計測, 光情報處理, 回折應用計測, 레이저도포려法
높은空間的 카피렌즈	指 向 性	直線기준, 面기준, 레이저세어틀라이드, 表面檢査
카피렌즈	集 光 性	記錄, 비디오디스크, 光触計
높은에너지 密度	光 펄스性	測距, 瞬間寫眞
	光포스트性	材料處理, 加工, 發光分析

를 不問하고 거의 光파이버通信化 할 수 있는 것은 확실하다.

情報處理, 周邊端末, 홈엘렉트로닉스의 分野에서는 工場의 컴퓨터네트워크는 光데이터웨이화가 進行되고 있으며 플린터·비디오디스크 등의 民生品도 레이저應用化되어 가고 있다. 計測·加工에 대해서는 다음에 記述하겠다. 레이저를 에너지源으로서 應用하는 것으로는 核融合이나 醫用이 있는데 이는 매우 흥미깊은 일이다.

2. 加工에의 應用

〈表-2〉 레이저技術의 應用分野

通 信	公衆光通信, 海底光케이블通信, 工場·빌딩內通信, 電力會社, 放送, CATV, 防衛宇宙, 交通, 航空, 船舶, 衛星地球局 및 搭載, 데이터·하이웨이用, 交換機의 架間과 프로세서間接續
情報處理, 周邊端末, 홈·일렉트로닉스	架間光接續, 메이타·하이웨이, 레이저·플린터, 레이저POS, 광디스크, 이미지(画像)
計測·加工	레이저·레이다, 레이저測遠·測長器, 레이저照準, 레이저·자이러, 레이저加工(切斷, 구멍뚫기, 트리밍等), 광센서
에너지	레이저核融合(로오렌스·리버모어研究所等) 레이저同位元素分離
醫 用	레이저·메스, 레이저·코어규레이터(眼) 癌의 診斷

레이저光을 렌즈나 미러를 사용하여 작은 스포트에 조여 材料에 照射함으로써 加熱·溶融·蒸發시키며 或은 材料의 組織에 變化를 준다. 이것을 利用하는 것이 레이저加工이며 구멍뚫기·切斷·微小量除去·熔接·表面處理等を 할 수 있다.

(1) 레이저加工의 原理

加工에는 에너지源이 필요하다. 표 3은 에너지源의 比較를 나타낸 것이다. 레이저는 商用베이스의

〈表-3〉 에너지源의 比較

	아세틸렌가스	太陽光	電子빔	레이저
最小스포트面積 [cm ²]	10 ⁻¹	10 ⁻³	110 ⁻⁷	10 ⁻¹
파우어密度 [W/cm ²]	10 ⁴	10 ⁴	10 ⁸	10 ⁸

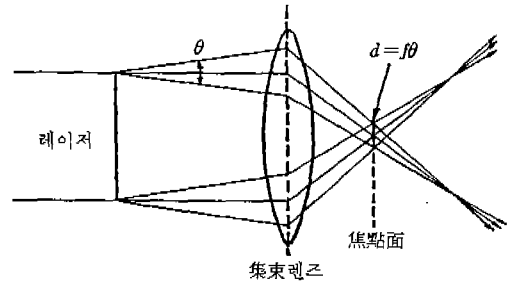
熱源으로서의 파우어密度가 最大이며, 最小의 스포트面積을 갖는다.

이와같은 高密度의 에너지는 레이저光을 集束렌즈로 조임으로써 얻어진다. 그림 1에 있어 擴散角 θ (rad)의 光線을 集點距離 f (cm)의 렌즈로 集束하면 集點面에 있어서의 스포트徑 a 는

$$a = f\theta \text{ [cm]}$$

가 된다. 高出力레이저로서는 $\theta = 10^{-2} \sim 10^{-3}$ [rad] 이므로 焦點距離數cm의 렌즈를 사용하면 焦點面에 있어서의 스포트徑은 數10~數百 μm 가 된다.

레이저光을 集束했을 때, 焦點面에 있어서의 強度(파우어密度) P_1 은 레이저의 出力 파우어 P [W]를 스포트面積으로 나누면 얻어진다.



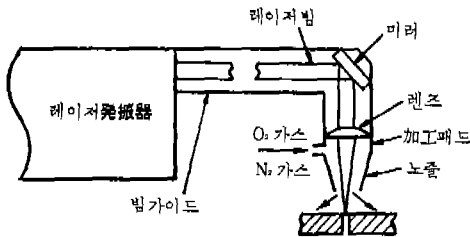
〈그림-1〉 擴散角 θ 과 集束徑 d

즉

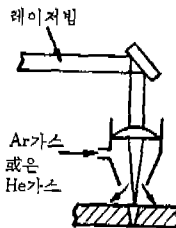
$$P_1 = P \frac{P}{\frac{\pi}{4}d^2} = \frac{4P}{\pi d^2} \text{ [W/cm}^2\text{]} \quad (2)$$

그림 2는 加工의 概念圖이다. 切斷이나 熔接에서는 焦點面에 材料를 세트하여 加工하나 熱處理에서는 焦點을 흐리게 하여 加工하는 것이 一般의이다.

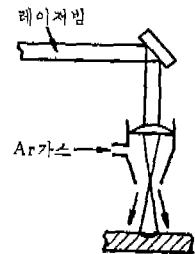
그림 3은 레이저加工의 基礎現象과 加工의 種類를 나타낸 것이다. 材料에 레이저光을 照射하면 材



(a) 切斷加工

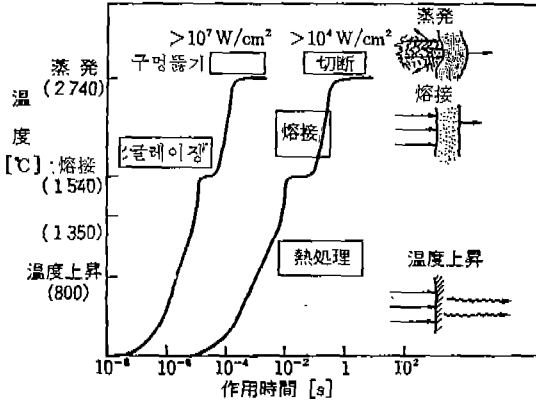


(b) 熔接加工

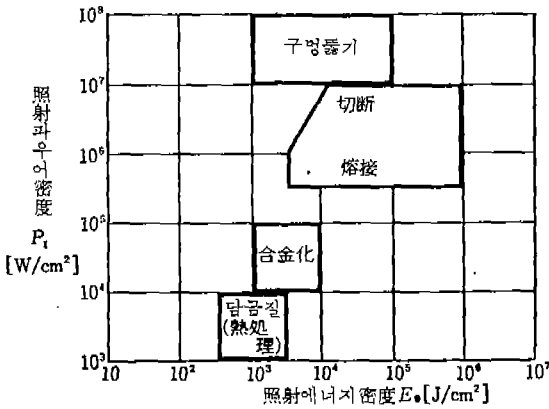


(c) 熱處理加工

〈그림-2〉 레이저加工概念圖



(그림-3) 레이저加工的 基礎現象과 加工의 種類



(注) 切斷·熔接·熱處理等에 따라 照射條件이 달라진다.

(그림-4) 加工別레이저의 照射條件

料의 溫度는 上昇하고, 熔接·蒸發이라는 過程이 進行된다.

例로 1 cm²의 材料에 10⁷ W의 에너지를 投入하면 (密度 10⁷ W/cm²), 10⁻²秒로 溶融 10⁻⁴秒로 蒸發하게 된다. 에너지密度가 작아지면 加工의 時間은 길어진다. 實際로 어떠한 條件으로 加工하고 있는지를 表示한 것이 그림 4이다. 여기에 있어 照射에너지密度(1秒 照射되는 에너지 密度)는,

$$E_0 = \frac{P}{v d} \text{ [J/cm}^2\text{]} \quad (3)$$

로 定義된다. 여기에 v[cm/s]는 加工速度이다.

그림 4 및 (1)~(3)式에 의해 加工에 必要한 概略 仕様을 求할 수가 있다. 例로 照射 에너지密度 10⁴ [J/cm²], 스포트徑 0.4[mm]로 良好한 熔接비드가 얻어진다.

照明파우어密度를 10⁶ [W/cm²]로 하면 레이저出力은 (2)式에서

$$P = \frac{\pi d^2}{4} P_1 = \frac{\pi}{4} \times (0.04)^2 \times 10^6 \\ = 1.3 \times 10^3 \text{ [W]} = 1.3 \text{ [kW]}$$

가 된다. 熔接速度는 (3)式에서

$$v = \frac{P}{E_0 d} = \frac{1.3 \times 10^3}{10^4 \times 0.04} = 3.25 \text{ [cm/s]} = 3.25 \times 60 \\ = 195 \text{ [cm/分]}$$

가 된다.

(2) 레이저加工의 特徵

레이저加工의 長點으로서는 다음과 같은 點을 들 수 있다.

(ㄱ) 集束部の 파우어密度는 從來의 加工法에 比하여 가장 큰 部類에 屬한다. 따라서 高融點材料, 耐熱合金類, 세라믹, 貴金屬類等의 硬質材料에 對해서도 加工이 可能하게 된다.

(ㄴ) 光學系를 잘 사용함으로써, 微小스포트를 조일 수 있으므로 微細加工이 可能하게 된다.

(ㄷ) 被加工物을 加工機에서 適當히 떨어져서 하여 非接觸加工을 할 수 있으므로 벌려 떨어진 곳이나, 사람이 들어갈 수 없는 곳에서의 加工도 할 수 있다.

(ㄹ) 加工의 自動化가 容易하며 最適制御도 容易하다.

(ㄹ) 加工條件을 適當히 선택함으로써 加工變質層이나 熱變形이 적은 加工을 할 수 있다.

(ㄷ) 加工에 사용되는 레이저의 波長에 따라서는 玻璃와 같은 透明체를 통한 加工도 할 수 있다.

(ㄷ) 電子빔 加工機와 같이 眞空을 필요로 하지 않으며, X線에 대한 防護가 不必要하다.

한편 欠點으로서는 다음과 같은 點을 들 수 있다.

- ① 高價이다.
- ② 入力에너지에 대하여 出力에너지는 낮다.
- ③ 壽命이 짧다.
- ④ 出力·周波數가 不安定하다.
- ⑤ 調整이 不便하다.
- ⑥ 雜音이 發生한다.
- ⑦ 人體에의 影響이 念慮된다.

이러한 것은 欠點이라기 보다는 實際로 使用되고 있는 現場에서의 調査結果이다. 前記 欠點가운데는 使用方法이나 保守의 方法이 나쁜 경우도 있다. 또

한 끊임없이 改良이 加해지고 있기 때문에 欠點도 줄어들고 있다.

要는 長點, 短點을 알면서 目的에 맞는 레이저를 선택하며 또한 사용하도록 하는 것이 중요하다.

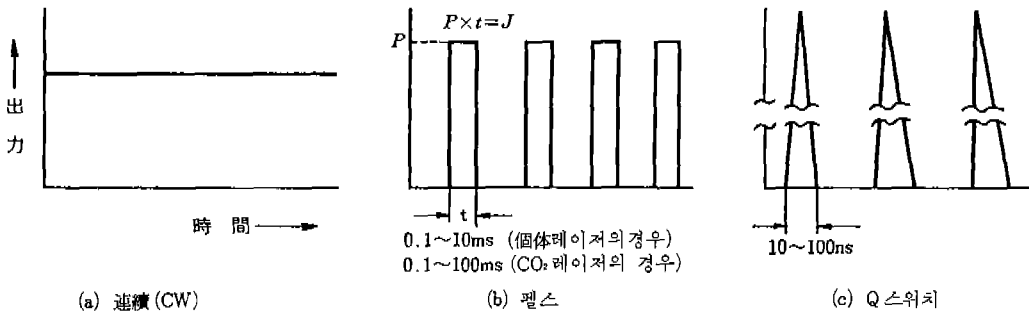
(3) 加工에 사용되는 레이저

표 4는 加工에 사용되고 있는 레이저의 種類 및 用途를 表示한 것이다. 加工에 사용되는 레이저는 파우어 密度가 크며, 持續時間이 큰 것이 중요하다.

이것은 加工速度를 빨리 하는 것과 熱 영향範圍를 작게 하기 위한 것이다. 따라서 大出力레이저가 필요하나 표 4로 大出力이 얻어지는 것은 CO₂ 레이저와 YAG 레이저이다. 加工用레이저라고 하면 이 두 가지를 말하는 경우가 많다. 發振形式으로는 連續, 反復 펄스, Q 스위치(그림 5)가 있다. 그리고 出力의 表示로서는 連續發振의 경우는 와트(W)로 表現하나 펄스發振의 경우는 피크出力[W], 줄(J), 平均出力[W]이 있다. 그 關係는

〈表-4〉 加工에 사용되는 레이저

레이저名	波長[μm]	發振形式	標準出力[W]	標準加工例
CO ₂	10.6	CW (連續)	~10*	熱處理 熔接 切斷
		反復 펄스	500 (平均)	熔接 除去加工
Ar ⁺	0.4680 0.5145	CW	18	半導體加工
Nd:YAG	1.06	CW 反復 Q 스위치	~300 5000 (피크值)	熔接 트리밍
		反復 펄스	200 (平均)	熔接 구멍뚫기
Nd:Glass	1.06	單一 펄스	10* (피크值)	스포츠熔接 구멍뚫기
Ruby	0.6943	單一 펄스	10* (피크值)	스포츠熔接 구멍뚫기



〈그림-5〉 發振形式

$$\text{줄(J)} = \text{피크出力(W)} \times \text{1 펄스幅(S)}$$

$$\text{平均出力(W)} = \text{줄} \times \text{1 秒間의 펄스數이다.}$$

CO₂는 다른 加工用 레이저에 比하여 大出力을 連續하여 낼 수가 있으며 더우기 勵起效率이 높은 것이 特徵이다. 現在 10kW글라스까지 實用化되고 있다.

따라서 大出力을 要하는 金屬의 切斷, 구멍뚫기, 熔接, 表面熱處理等 本格的 加工이 可能하게 된다.

더우기 波長이 다른 加工用레이저 보다도 한層진 10.6μm의 遠赤外領域에 있으며, 종이·木材·플라스틱等 거의 모든 非金屬材料에 에너지가 잘 吸收되기 때문에 많은 材料에 適用可能하다. 現在 20kW 글라스의 實用機器를 目標로 研究開發이 추진되고 있다.

YAG 레이저는 固体레이저이며 Y₃Al₅O₁₅ (이트륨 알미늄 가네트)의 結晶에 Nd³⁺ 이온을 注入한 것으로서 4準位레이저 이다. (基礎的 說明은 前回參照) 平均出力은 200W 정도이며 中容量의 레이저이다. YAG 레이저의 特徵은 CO₂ 레이저 보다도 스포트徑을 約 1/10 적게할 수 있다는 것이다. 즉 理論的으로는 最小스포츠徑은

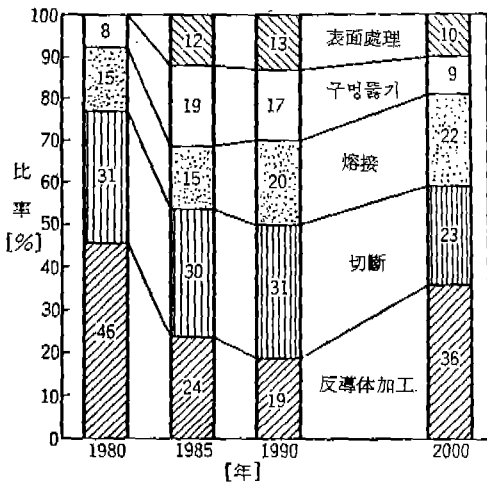
$$d = \frac{4f\lambda}{\pi D}$$

f: 렌즈의 焦點距離, λ: 레이저光의 波長, D: 入射레이저빔의 直徑

이 되며, YAG 레이저의 波長은 1.06μm 와 CO₂ 레이저의 그것보다 1/10이므로, 스포트徑은 1/10이 된다.

〈表-5〉 레이저加工機의 使用例

加工의 種類 産業	구멍 鑿기	切斷	微小量除去· 加工	熔接	表面處理
電機工業		○半導체部品	○半導体部品	○모터스테이터 ○電話·電信部品 ○電氣部品	○플린터담금질 ○半導体部品(어니링)
機械工業	○터빈燃燒系統 ○펌프製品	○部品切斷		○베어링 ○車用에어콘部品 ○펌프製品	
輸送關聯	○航空機用特殊 材料	○防音파널		○트럭·버스車体바넬 ○自動車部品 ○터빈엔진部品	○自動車部品담금질 ○디젤엔진, 실린더라 이너담금질
鐵, 非鐵金屬				○鐵板, 薄板	
유리工業		○유리製品			
皮工業		○皮靴製品			
고무工業	○플라스틱튜브 ○乳首				
藥品工業	○藥品캡슐 ○手術用品				
服裝産業		○服地裁斷			
煙草産業	○필터				
紙工業		○구멍鑿기플 래스用型			
其他	○注射針			○傳熱關係部品	○全般으로各種材料의 마아킹)



〈그림-6〉 生産(億圓)이 차지하는 比率

以上の 特徴에 의해 CO₂ 레이저는 大尺寸加工에,

YAG 레이저는 小尺寸法, 마이크로加工에 適合하다

(4) 應用分類

표 5는 레이저加工機의 使用例를 表示한 것이다. 現在의 使用例로서는 半導体 加工法을 中心으로 하는 電機工業이 가장 많다. 그림 6은 應用分類이다. 1980년에는 半導体加工이 거의 半數를 차지하고 있었으나 앞으로는 半導体加工, 切斷, 熔接, 구멍鑿기 가 均等하게 伸長할 것으로 豫測되고 있다.

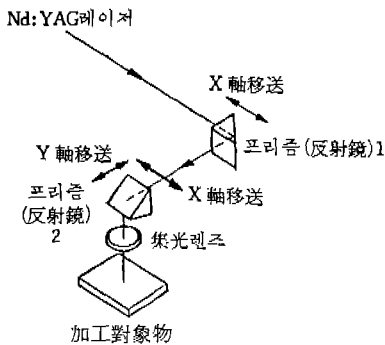
(5) 應用例

1) 半導体加工의 分野에서는 트리밍·스크라이빙 穿孔·切斷·熔接等에 레이저가 使用되고 있다. 트리밍의 意味는 베어 들기, 손질을 의미한다. 混成集積回路나, 抵抗모듈 등의 素子内에는 數個 또는 數 10個의 抵抗素子를 포함하고 있으나 이 抵抗素子의 一部를 커트하여 抵抗値를 設定置에 調整하는 것을 트리밍이라고 한다. 그리고 이를 行하는 裝置를 레

이저트리머라고 한다. 스크라이빙은 劃線긋기 등의 뜻으로 트랜지스터, 다이오드 및 集積 回路用的 실리콘웨이버 위에 만들어진 수많은 素子를 素子單位에 分割하기 위해 웨이버에 깊은 홈(溝)을 鑿는 工程에 사용한다. 이 裝置를 레이저스크라이버라고 한다.

레이저光에 의한 穿孔은 混成集積回路用的 알루미늄산화막基板 등에 對해 이용되고 있다. 이것들의 物質은 高硬度이며 高融點을 갖고 있기 때문이다.

切斷加工은 集積回路用 마스크의 製作 마스크의 變更, 修理 등에 사용되고 있다. 熔接加工은 集積回路用 캔타이프의 캡의 熔接 등에 사용되고 있다.



〈그림-7〉 레이저트리머

2) 구멍뚫기

레이저에 의한 구멍뚫기加工은 從來의 機械的 加工法에서는 長時間을 要하는 材料, 金屬에 對해서 機械的 구멍뚫기가 困難한 200 μ m 이하의 微小한 구멍加工, 부드러운 機械的 구멍뚫기 適用이 困難한 材料 등에 對해서 사용되고 있다. 例로 다이어먼드 다이스, 時計用軸受, 耐熱性回路基板(알루미늄산화막), 플라스틱, 파이프, 콘택트렌즈, 哺乳瓶용 고무꼭지, 담배필터 등이다. 표 6은 구멍뚫기加工 데이터의 例이다.

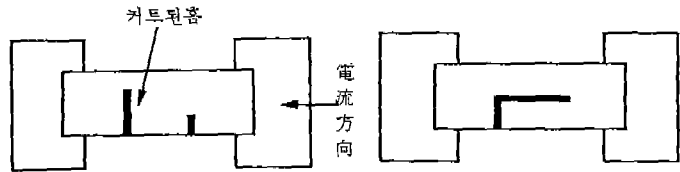
〈表-6〉 구멍뚫기加工데이터의例

項目	加工物	軸受류의 구멍뚫기	스텐레스板의 구멍뚫기	세라믹의 구멍뚫기
使用 裝置	YAG구멍	YAG레이저	YAG레이저	YAG레이저
加工 時間	約 0.3秒	約0.4秒/구멍	約1.5秒/구멍	約1.5秒/구멍
구 멍 徑	~50 μ m	520~260 μ m	500~320 μ m	

電子部品の 小形化 및 高密度化에 따라 微小熔接技術의 重要性 및 高信賴性이 指摘되고 있다. 레이저加工은 자유로운 분위기로 非接觸의 微小加工이 可能하므로 이같은 要求에 對해 最適한 容接技術이 되고 있다.

한例로서 레이저트리머를 들 수 있다. 그림 7은 原理圖이다. YAG 레이저가 利用되고 있다. 마이크로 컴퓨터의 制御에 의해 試料台의 移動에서 레이저光의 移動에 의한 트리밍, 良否判定까지 모두 自動적으로 한다.

그림 8은 抵抗體의 커트의 例이다. 抵抗體의 電流方向과 直角으로 幅 約50 μ m의 홈을 數個 커트하여 抵抗值의 調整을 한다. 보다 微細한 調整이 필요한 경우는 L 커트를 한다.



(a) 直線커트

(b) L 커트

〈그림-8〉 트리밍의 形狀

3) 切斷

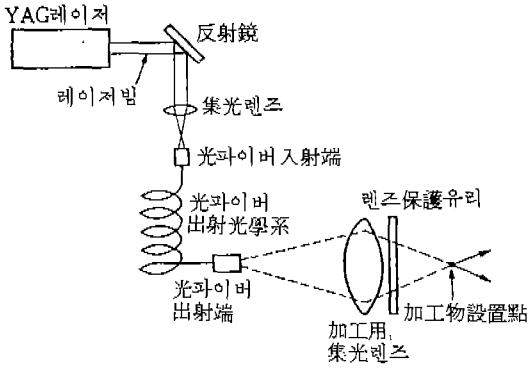
레이저에 의한 切斷加工은 複雜形狀切斷이 容易하며 自動化가 쉬운 것으로 하여 今後 크게 擴張될 것으로 豫測되고 있다. 다이보드, 洋服地, 치턴, 치턴合金, 니켈 耐熱合金, 航空宇宙材料의 切斷 등에 레이저가 사용되고 있다.

自動車, 家庭用電氣機器, 重電機, 化學裝置 등의 各種 金屬材料의 複雜形狀 切斷에 對해서도 切斷面品質, 形狀精度, 切斷速度, 切斷코스트 등의 點에서 레이저切斷은 從來方式에 對해서 優秀하다는 것이 明白히 되어 많은 시스템이 實用化 되고 있다.

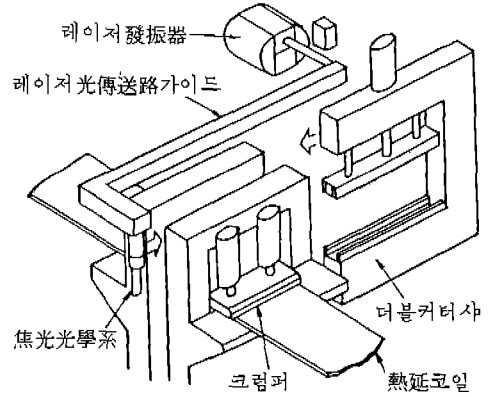
4) 熔接

YAG 레이저를 사용한 小形部品과 薄肉部品の 마이크로熔接은 표 5에 표시하는 것과 같이 使用例도 많다.

레이저빔의 傳送手段으로서 光과이버를 利用한 것도 있다(그림 9). 이 방식에서는 光學系가 簡略化 되어 머니튜레이터나 로봇과의 結合에 의한 自由



〈그림-9〉 광파이버의 傳送光學系



〈그림-10〉 熔接加工裝置의 概略圖

도가 높은 自動機로 하는 등 今後의 發展이 期待 된다.

대치수 材料의 熔接에 對해서는 主로 CO₂ 레이저가 사용되고 있다. 그 例로서 鋼板의 熔接이 있다.

鐵鋼業에서는 熱加工은 여러곳에서 行하여지고 있으며 壓延工程에서는 熔接이 生産效率을 높이는 중요한 פק터가 되고 있다. 近年에 와서 生産性向上을 위한 프로세서의 高速化, 連續化의 니즈는 極히 높으며 뿐만아니라 熔接部의 品質(強度·表面性狀等) 向上의 니즈도 높다.

例로 冷間壓延工程에서 1 코일 單位의 壓延이었으나 코일을 연속 熔接하여 壓延機를 中止함이 없이 壓延하는 連續化가 實施되고 있다.

從來부터 鐵鋼生産 프로세스에 쓰여지고 있는 熔接法으로서, 플래시베트 熔接, 실 熔接, 스포트 熔接 등이 있으나 熔接入熱과 熔接余盛이 크다. 사이클 타임이 길다는 등의 欠點이 있어 使用라인과 適用鋼種에 制限이 있다.

레이저 熔接이 鐵鋼라인으로 사용하기 시작한 理由는 熔接入熱이 적으며 熔接余盛이 거의 없는 데다 사이클 타임이 짧으며 從來 熔接이 困難했던 高級電磁鋼板의 熔接이 可能하다는 利點을 갖고 있기 때문이다.

그림10은 熱延코일 接續用 5kW CO₂ 레이저 熔接機의 例이다.

熔接裝置는 被熔接物인 코일材를 固定하는 크램프裝置, 코일材를 切斷하여 開先加工을 하는 더블 커트셔, 切斷된 材料를 이은 인덱스機構, 레이저光을 傳送·集光하는 光學系, 集光光學系 走行部(토치카리지)로 이루어진다. 토치카리지에는 필러와

〈표-7〉 레이저 熔接裝置의 仕様

使用 레이저	5kW CO ₂ 레이저
處 理 材	軟鋼, 스테인레스鋼 珪素鋼 高炭素鋼
處 理 寸 寸	板幅 610~1,880mm 板두께 1.2~5 mm
토치카리지移送速度	最大 10m / 分

이어(熔加棒) 供給장치가 同架되어 있으며 必要에 따라 사용된다.

熔接工程은 自動制御裝置에 의해 自動적으로 行해진다.

표7은 熔接裝置의 仕様이다.

5) 表面處理

表面處理의 應用例로서 報告되어 있는 것으로는 담금질과 머킹(이 分類에 넣는 것이 適當한지 아닌지는 別途로 하고)이 있다.

레이저 담금질의 특징은, 品質이 우수한 硬化層을 얻을 수 있다. 熱處理 歪曲이 작으며 後工程(歪曲잡기나 마무리加工)의 省略이 可能, 自己冷却이 可能하며 담금질液이 不必要 微小分部 複雜形狀部分의 담금질이 可能하다는 등의 特徵을 갖고 있다.

自動車部品과 電子部品, 실린더라이너에 對한 實施例가 보고 되고 있다.

머킹에 있어서는 실리콘웨이퍼나 機械部品の 裏面에 品名과 로트番號를 레이저빔으로 印字하는 裝置가 開發되고 있다.

*