③ レーザ切断技術の最近の動向*

村 井 融**

Trend of Laser Cutting Technology*

by Tohru MURAI**

キーワード：レーザー切断，CO₂レーザー，軟鋼，ビームモード，アシストガス，加工条件制御

1. はじめに

CO₂レーザー加工機は薄板を高精度に切断することを目的とし、板金加工業界を主要ユーザとし普及してきた。しかし、近年では工業製品の低価格化が進み、高速、高精度はもとより、多品種少量部品をいかに効率よく生産するかが求められている。また、従来、ガス切断やプラズマ切断が主であった建設機械部品等の長尺厚板分野においてもレーザー加工の高精度で安定した加工が評価され、合理化投資の一環として普及しはじめている。本稿では最新のCO₂レーザー加工機の特長とその適用について紹介する。

2. レーザによる切断能力

2.1 切断の高速・高精度化

試作板金部品へCO₂レーザーの適用が始まった1980年代、例えば、板厚1.2mmのSPCC（冷間圧延鋼板）を切断する場合、穴加工部分は速度1.5m/min、外形部分は3m/minの設定が実用レベルであった。これは当時要求されていた真円度50μmを満足するためには上記切断速度が実用上の限界となっていたことによる。

しかしながら、近年では、真円度に影響する機械系、制御系の解析、検討に加え、加工テーブルの軽量化と高剛性化、並びにさまざまな制御技術の開発等がなされ、年々切断精度は改善されてきた。図1は'89年以前から'95年までに開発されたCO₂レーザー加工機の切断精度の

変遷を示したものである。例えば真円度50μmを満足させる切断速度は上述のように当時は1.5m/minであったのに対し、現在では8m/minであり、7年間で5倍以上の切断速度が得られるようになった。さらに、低速度領域の切断精度も改善され、20μm程度までの真円度が得られるに至り、高精度板金加工分野への適用も可能となってきている。

図2は板厚1mmのSPCCの直線切断能力を各アシストガス種で比較したものである。また、図3は各アシストガス種での切断面写真を示したものである。同一出力での切断能力は酸素が最も優れ、ついでエア、窒素の順となる。酸素切断の場合、レーザービームのエネルギー以外に酸化燃焼反応のエネルギーも切断に大きく寄与しているのは広く知られている。しかし、酸素を用いた場合の切断品質は切断速度が20m/minを越えたあたりから急激に低下する傾向が認められる。それに対し、窒

図1 加工精度（φ10穴真円度）の年代による変遷

*原稿受付 平成9年7月16日

**正 員 三菱電機（株） Member, Mitsubishi Electric Corp.

素，エアーを用いた場合には，20 m/min までの切断品質はほぼ一定であり，窒素切断については酸化膜が形成されないため，後工程でしばしば問題となる溶接性や塗装性に優れるという利点がある。

2.2 軟鋼厚板の高品質化

厚板のレーザ切断では，光学部品や発振器内部品への熱負荷の増加，加工条件裕度の減少，被加工物のばらつきなどのため，加工が難しくなる傾向がある。ここでは，軟鋼厚板の品質に影響を与える要因について述べる。

(1) ビームモードの影響

発振器から出射したレーザビームは加工レンズにより集光され被加工物に照射されるが，集光性能に影響を与

える要因は，ビームモードの次数，レンズ入射ビーム径，加工レンズ焦点距離など多岐にわたる。図 4 は TEM 00 と TEM 01* の非集光ビームモードを 3 次元表示したものである。モード測定には PROMETEC 社製モードア

図 2 軟鋼薄板の高速直線切断能力

(a) TEM₀₀ モード

(b) TEM₀₁₊ モード

図 4 モード形状の比較

		アシストガス種					
		酸素		エアー		窒素	
			Rmax (μm)		Rmax (μm)		Rmax (μm)
切断速度 (m/min)	10		6		10		9
	15		11		9		11
	20		10		6		7
	25		30		8		7
	30		48				
	35		58				

出力 3000W
被加工物 SPCC t1mm

図 3 各アシストガス種による切断面写真

ナライザ UFF 100 を用い、出力は TEM 00 で 1000 W、TEM 01* で 1500 W に設定している。図 5 は板厚 12 mm の SS 400 鋼板を TEM 00 と TEM 01* モードのビームで切断し、良好な切断品質が得られる出力と切断速度の関係を示したものである。TEM 01* モードでの良好な切断品質の得られる範囲は、TEM 00 での範囲に比べ約 2 倍（面積比）に拡大し、かつ高速度側に裕度が拡大している。波動光学シミュレーションによれば、各モードの焦点位置でのビーム径は TEM 01* の方が TEM 00 より大きい。光軸方向へのエネルギー強度分布の変化は TEM 01* の方が TEM 00 より小さくなる。さらに、光学部品の汚れに伴う熱ひずみに対する影響も、TEM 01* モードの方が有利であるという結果が得られている¹⁾。このように、厚板切断と薄板切断とでは最適なビーム

モードが必ずしも一致せず、各々に適したビームモードの選定が必要となる。

また、レンズ入射ビーム径、加工レンズ焦点距離以外にもビームモードの“裾野”の分布が加工性能に影響を及ぼすことも確認されている。被加工物の溶融しきい値に達していないビームのエネルギーは、切断に寄与しないため、切断溝周辺の入熱量の増大を招く。その結果、切断溝境界部が不安定になり、ガウジング、セルフバーニングなどの加工不良を誘発しやすい。

(2) アシストガスの条件

レーザ切断におけるアシストガスの役割は、溶融した金属を切断溝内から排出するための運動エネルギーの提供、酸化反応熱の制御、被加工物の冷却、加工レンズの保護などを挙げることができる。そのため、加工ガスの種類や流量、圧力などの条件パラメータは被加工物の種類や要求品質に応じて最適値に設定する必要がある。

図 6 は 3 種の異なった純度の酸素を用いた際の板厚と最大切断速度の関係を示したものである。材質は SS 400 鋼板を用い、純度は 99.94%、99.84%、99.56% の 3 種を用

(a) TEM₀₀モード

(b) TEM₀₁*モード

○：良好のもの
△：ドロスの付着の多いもの
×：セルフバーニングもしくはガウジングの発生するもの

図 5 モードによる板厚 12 mm の SS 400 鋼板切断能力の比較

図 6 酸素純度による最大切断速度の比較

図 7 酸素純度による加工条件裕度の比較

いた。これより酸素純度が高いものほど最大切断速度も増大し、99.94%の酸素では99.56%の酸素に比べ最大10～40%の速度増大が認められた。

図7は板厚19mmのSS400鋼板において各酸素純度で加工条件の裕度を比較したものである。横軸にはレーザ出力、縦軸には切断速度を示している。99.94%の酸素純度では99.84%の酸素に比べ、最大切断速度が増加しているだけではなく、適正加工条件の範囲も全体的に拡大していることがわかる。なお、99.56%の酸素では良好な切断は不可能であった。

このような、酸素純度の重要性に着眼し、既に軟鋼厚板を対象とした二重ノズル^{2,3)}が最近のレーザ加工機には採用されている。二重ノズルはレーザビームと同軸上にガスの流れる中心流ノズルと中心流ノズルの範囲を同心円上に取り囲んで平行に流れる周囲流ノズルからなる構造となっている。本ノズルの流体力学的特性として、1) ノズルから噴出されるガスの圧力分布が比較的平坦である、2) 切断部近傍での周囲空気の巻き込みが少なく、酸素ガスのシールド効果に優れている、などが挙げられ、切断速度や切断面粗さの向上が確認されている。図8は二重ノズルを用い加工された軟鋼材SS400鋼板の板厚25mmと28mmの切断面拡大写真および切断面粗さを示したものである。

(3) 材料の影響

厚板切断では加工機側だけではなく、材料側の要因も重要である。産業界に広く使用されている一般構造用圧延鋼材SS400と呼ばれるものでも、その化学成分、表面状態にはばらつきがあり、鉄鋼メーカ、製造ロットによ

りレーザによる切断性能が大きく異なることはよく知られている。特に、材料表面状態にはその表面粗さ、酸化膜の厚さ、酸化膜と母材の密着状態が切断品質に影響を及ぼすことが確認されており、これらの外的要因の影響をいかに小さくするかが、厚板切断の安定加工には不可欠である。

(4) 加工条件の制御

厚板切断では、上述した要因の他に、その切断能力が加工形状に支配されるところが大きい。これは、切断の進行に伴う被加工物の湿度上昇、板厚増加によるドラグラインの遅れ量増大などによる。そのため、厚板を高精度、高品質に加工するためには、より高度な加工条件の制御が必要とされる。

厚板を切断する場合、条件切り換え部分や加工経路の終端部分において切断面に溶け落ちが発生しやすくなる。この発生原因は、高温部分での急激な酸化燃焼反応の広がり、ノズルから切断溝先端部に噴射するアシストガスの乱れが考えられる。図9に最新の条件制御を用いた場合の加工性能を従来方式と比較して示す。加工不良の発生しやすいピアシング後の加工開始部や条件切り換え部、エッジ先端部では、切断面前面での冷却作用を付加する。その後、入熱を抑制するために、あらかじめ設定された距離だけ低速条件で加工し、再び高速条件へと切り換わる。また、穴加工の終端部では、大きな溶け落ちが発生しやすく、従来のレーザ加工ではタップの下穴加工として問題があったが、最新の条件制御では終端部で自動的に入熱を抑制した条件を選択することにより加工品質を大幅に向上することが可能である。最新のレーザ加工機にはこのような最適加工条件制御が採用されている。

材質：SS400
出力：3000W
切断速度：0.65m/min(↑25mm), 0.55m/min(↑28mm)
焦点位置：+2.5mm
アシストガス：O₂：70kPa

図8 二重ノズルによる軟鋼厚板切断面

図9 自動条件設定機能の比較

3. 高生産化、省入化への対応

レーザ加工機単体では通常1枚の素材の加工が終了す

図 10 汎用高生産レーザー加工機 LX (P) シリーズ

図 11 パレットストック方式レーザー加工機

るたびに製品の取り出し、素材の再供給などの段取り作業が介入する。これらの作業は加工機の生産性を低下させる原因となり、さらには自動化、省人化への大きな障害となっている。ここでは、これらの課題を解決すべく開発された製品群の例を紹介する。

図 10 は汎用高生産性レーザー加工機の外観である。本加工機はガントリー一部分が長手方向に移動する 3 軸光走査方式を採用しており、材料を搭載する 2 枚のパレットを交互に加工機に出入りさせるパレットチェンジャを備えている。この方式により、加工中にパレットチェンジャ側のパレットでの材料の搬入、加工後の部品取り出しを可能とし、大幅な生産性向上を実現させた。

図 11 は連続自動運転を可能とするパレットストック方式のレーザー加工機の外観図である。パレットストック方式は、パレット化されたレーザー加工機のテーブル部分をストックに収納可能としたものである。例えば、10 段パレットストックでは、10 枚の加工用パレットに各 1 枚の素材をあらかじめ供給しておき、操作盤のスケジュール設定機能により加工スケジュールを決定し、ストックからレーザー加工機にパレットを供給して連続自動加工を可能とする。加工済み製品はパレットごとストックに収納する。加工用パレットには 50 mm ピッチで加工製品を支える棧があり、比較的小さな製品でもマイクロジョイントレス加工に対応できる。

長手方向の移動ストロークが 6 m 以上のいわゆる大

図 12 大形レーザー加工機 ML 13025

形レーザー加工機は、元来、加工材料の板厚増大に伴う部材の大形化の要求に応えるものであった。しかしながら、複数枚の定尺材を同時に加工テーブルに置くことにより、生産性の大幅な向上が図ることが可能である。図 12 は大形レーザー加工機の外観図である。大形レーザー加工機では発振器から加工ヘッドまでの距離が大きく変化するため、加工位置によりビーム品質が異なるという問題が生ずる。この問題を解決するために、大型レーザー加工機ではその加工ストロークにより、発振器搭載型および光路長一定装置を装備した発振器別置き型に分類される。

4. お す び

以上、CO₂レーザーによる最近の切断技術および製品の動向について述べた。レーザー加工が産業界に広く普及した現在、求められるものはさらなる高速、高精度加工能力、ランニングコストの低減およびビームの適応技術、モニタリング技術など自動化に必要な制御技術である。これらの技術的課題を解決することはメーカの使命であり、今後ともユーザと一体となり、実用化のため努力する所存である。

参 考 文 献

- 1) 松原他：CO₂レーザービームの集光特性に与える透過光学鏡の熱歪の影響，レーザー研究，22，No. 7 (1994)
- 2) 金岡，古藤：CO₂レーザーの切断品質とアシストガスに関する研究，日本機械学会論文集（C 編），59-562 (1993-6)
- 3) 村井他：CO₂レーザーによる軟鋼厚板切断におけるアシストガス流れに関する研究，溶接学会春期全国大会講演概要第 56 集（'95-4）