

レーザー加工技術研修会報告

建設・機械系 山森 英明
村本 充

1. 目的

レーザー加工機の基礎、実用上の問題点、今後の発展性を知る。

実際に機械に触れ、レーザー加工機の特徴を知る。

最先端の加工技術を知り、実験、実習等に役立てる。

2. 内容

2-1. レーザ加工の基礎

○レーザー加工とは

レーザー光をエネルギー源として材料に照射してそこで生ずる現象を利用した材料処理法である。レーザー光の波長によって材料への作用も多種多様である。よってレーザーは切断、穴あけ、溶接といった従来から広く行われていた加工法に应用されているだけではなく、材料の表面改質や合成など新しい加工法の道具として応用されている。

○レーザー加工の種類

レーザーエネルギーの応用分野を表1に示す。この中で、加工、医療、印刷分野では実用化が進んでいる。

表2は従来からの加工形態に従って分類したものである。

また、加工機構によって分類すると、2つに分類される

波長の長い光：高温プロセス（加熱、溶融、蒸発）

波長の短い光：低温プロセス（励起、反応、解離）

表1 レーザエネルギーの主な利用

分野	応用	例
加工	不可加工、除去加工、改質・変形加工、複合加工、結晶成長	
材料・化学	材料合成、化学反応促進・制御、加熱・圧縮、不純物分離	
エネルギー	レーザー核融合、エネルギー伝送、同位体分離、ウラン濃縮	
医療	手術、治療、診断	
土木・建築	コンクリート・岩石の破壊	
印刷・通信	製版	

○レーザー加工に使用される機器

レーザー発振器の技術進歩は著しく、新しい媒質によるレーザー発振の研究が進め

表 2 加工形態に基づく加工法の分類

種 類	加 工 法	内 容
材 料 除 去	切 断 加 工	金属、セラミック、洋服生地、複合材料、プラスチック、ゴム、木材、ガラス
	穴 あ け 加 工	ゴム、金属、ダイヤモンド、岩石、サファイア
	マイクロ加工 クリーニング	トリミング、マスクリペアリング、スクライピング 油等の表面の汚れを熱的に除去する、傷の除去
付 加	溶 接 加 工 蒸 着	金属、セラミックス 加熱源として利用
表 面 処 理	焼 入 れ	表層部、機械の一部分の焼入れ
	焼 き な ま し	局部的な焼きなまし
	グ レー ジ ン グ	10 ⁶ °C/sの速度で急冷して表面を非晶質化
	ア ロイ ン グ	局部的に合金層を形成する
新 しい 利 用	結 晶 成 長	サファイア、シリコンリボン等の結晶を作る
	線 引 き	ガラスファイバ
	割 断 補 助 熱 源	ガラス、岩石等に局部的な熱ひずみを加えて割る レーザで加熱して他の加工法を併用して加工する

られている。しかし、実用化レベルのレーザの種類は少ない。代表的な発振器を表3に示す。そのうち加工機として実用化されているレーザはCO₂、YAGである。CO₂は波長が長くハイパワーで切断に適している。YAGは光ファイバーでビームを伝送でき、光を細分化できることにより細かい切断などに適している。

○レーザ加工の特徴

レーザ加工の特徴は次のようになる。

- (1) 高パワー密度の加工のため局所的に高速で加熱できる。その結果、加工部周辺の温度上昇が少なく、熱ひずみ・熱影響領域が狭い。
- (2) 高融点材料、硬脆材料、複合材料、耐熱材料など難加工材料を含むあらゆる材料を加熱、溶融、蒸発して加工できる。
- (3) 光エネルギーによる非接触加工のため、被加工物にほとんど加工力が加わらない。そのため、加工物の取り付け、固定などによる変形がなく、柔らかい材料も精度よく加工できる。また、汚染や工具磨耗がない。光学的に透明な材料を透して加工できる。
- (4) レーザ光のパワー、エネルギー密度、照射時間を制御することにより、焼入れ、切断、溶接など各種加工ができる。
- (5) ビームの制御、伝送が容易なので加工機の構成も自由度がある。一台のレーザで複数の加工ステーションを設置して時分割・空間分割で加工すること、加工ヘッドをロボットに取り付けて加工することなどが可能。
- (6) 任意の雰囲気中で加工できる。電子ビームとは違い真空中以外に大気中、還元性・非反応性ガス雰囲気中でも加工できる。
- (7) X線の発生がきわめて少ない。

表3 加工に使用される主なレーザ

レーザ名	波長 (μm)	発振形式	標準出力 (W)	標準加工例
CO ₂	10.6	CW(連続波)	$\sim 10^4$	熱処理、溶接、切断
		繰返しパルス	18	切断、穴あけ、除去加工
Ar ⁺	0.4880	CW		半導体加工
	0.5145			
ネオジウム YAG	1.06	CW	~ 300	溶接
		繰返し Q-SW	5,000	トリミング
		繰返しパルス	200	溶接、穴あけ
ネオジウム ガラス	1.06	単一パルス	10^5	スポット溶接、穴あけ
ルビー	0.6943	単一パルス	10^5	スポット溶接、穴あけ
アレクサン ドライト	0.70~	繰返しパルス Q-SW	70	穴あけ
	0.82		18×10^6	
エ キ シ マ	ArF 0.193	パルス	40	光化学反応 ホトエッチング
	KrF 0.249		100	
	XeCl 0.308		65	
	XeF 0.350		8	

(8) 他の加工法と組み合わせた加工が容易に可能である。

以上の特徴は視点をかえれば、レーザ光は柔軟な工具であり、

- (1) 1台の加工機で多種類の加工ができる。
- (2) 単一のレーザで各種の材料を加工できる。
- (3) レーザビームの取り扱いが楽である。

のようなフレキシビリティがある。

○レーザ加工の基礎現象

レーザ加工のパラメータはレーザビーム条件、加工条件、材料特性など数が多く、しかも複雑な相関がある。

2-2. 加工における技術課題

○加工のメカニズム

材料表面にレーザ光を集光照射すると加工部は溶融域が形成される。ビームを照射した中心部では材料が急速に蒸発しその反力で溶融域では融液が周辺に押されて穴が形成される。レーザビームが材料上を移動するにつれてこの穴も移動する。この穴の形成と安定した持続、安定した状態で移動させることが加工品質に大きな影響を与える。そのためにはレーザ光は十分に高いエネルギー密度があることと、適性なアシストガスの圧力、流速、流量が重要である。

○穴あけ、切断

レーザー光で微細穴、深穴をあけるためには照射ビーム周辺に形成される溶融域をできるだけ狭くすることが重要である。そのためにパワー密度が高くできるだけスポット径の小さいビームの照射と適正なアシストガスの供給が必要である。

微細穴の場合、溶融・蒸発する微小領域だけを加熱することにより、穴周辺に盛り上がりの少ない微少な穴を形成できる。

深穴の場合、ビームと材料間の溶融した壁を薄くすることにより、ビーム照射を停止した直後に溶融域は重力によって流動する前に凝固し、形成されたキーホールに近い形状の穴となる。この際、アシストガスの噴射方向と流量の適性化をはかり、材料の温度上昇を補助し、速やかに溶融液を排除することが穴の品質をよくする。

切断加工は、薄板に対しては高パワー密度をビーム照射し、アシストガスを使用することで周囲の余分な領域の溶融や加熱を抑制して高品位切断が可能となる。厚板の場合、レーザービームとアシストガスの流れによって安定な形状のキーホールを移動させることにより、断面のきれいな切断を行うことができ、アシストガスの流速と流速分布が品質に大きく影響する

○溶接

溶接を行うためには、材料を溶接するために必要な量を溶融する必要がある。ビームのパワー密度が高すぎると切断加工状態となり、低すぎると熱が周辺に伝導し材料が十分に溶融する前に材料が凝固し欠陥の多い溶接状態となる。

深溶込みの溶接を行う場合、ビームの後方に安定した溶融域が形成されそれが凝固する状態が理想的である。キーホールの状態が不安定になると、溶融域に空洞が残り、ピンホール等の溶接欠陥の原因となる。

アシストガスは溶融域の酸化を抑制し、レーザー照射で発生するプラズマを排除してレーザーエネルギーがキーホールのそこまで効率よく到達するように供給する。この時、アシストガスにより溶融域表面が荒れるほどガス流速を大きくすると、溶接欠陥が発生する。

○表面処理

材料表面の一部分を溶融あるいは加熱して、変態硬化、アモルファス化、合金層等をオンラインで形成する。広い領域を処理するためには、レーザー光照射停止後にも高温部から低温部へ熱伝導があり、その温度上昇による材料への影響が無視できない。材料へのレーザーエネルギーの流入が大きすぎると自己冷却速度が遅くなり、十分な焼き入れ硬化が出来ない。材料表面の温度上昇がきわめて早い場合、表面を溶融させず一定の厚さで加熱するためには、レーザー光の出力の安定性を制御すると同時に単位面積に照射するレーザーパワーを正確に制御するようにレーザー光の走査方法を工夫する必要がある。表面の温度分布を考慮したレーザー照射

と材料の光吸収率の場所による変化に起因する表面上昇温度の変動を抑制することが重要である。この技術は現状ではかなり困難である。

レーザ加工がさらに広い分野で普及して行くために必要な技術課題として

装置など設備費のコストダウン

運転経費のコストダウン

モード制御、オートアライメント等の装置機能の向上

装置の信頼性、耐久性の向上

レーザ出力と加工能力との関係など加工データの整備

NC加工機・ソフト、パワー・モードモニター等周辺装置の充実

スポット径測定など測定機器の開発

CAD・CAMと一体化したシステム運転ソフトの整備

ワークハンドラー、三次元溶接用工具等の開発

等が挙げられる。

ユーザーとしてはレーザ加工機が多くの製品に応用されたとき、それぞれの作業環境に適合した安全対策、作業員への安全教育が重要である。

2-3. レーザによる厚板切断加工

○厚板切断について

レーザ切断の普及は板厚の薄い材料を高精度に切断することを目的としてきたが最近ではプラズマ切断やガス切断による加工が行われていた厚板の分野にもその適用が図られつつある。レーザによる切断の採用は、従来の熱加工法では達成が困難であった加工精度の要求に対し二次的加工を加える事なく高品質な加工を行うことが出来る。しかし、レーザ加工の厚板への適用は光学部品や発振器内部への熱負荷の増加、加工条件裕度の減少、被加工物の条件のばらつきなどのため加工が困難になる傾向にある。

厚板の切断で加工品質を評価する主な項目は

- (1) 燃焼反応が異常に広がるセルフバーニングの発生
- (2) 切断面に不規則に発生する傷
- (3) 切断部裏面に付着するドロス

である。これらの加工品質を左右する要因には切断溝の形成を左右する光学的要因としてのビーム集光特性と、熔融金属を酸化させ溝の中から排出を行う酸素アシストガス特性が主なものとしてあげられる

○光学的要因

レーザビームは、発振器から加工位置までの距離に応じてレンズ位置でのビーム径が異なるため加工点でのビーム集光特性が変化する。つまり、加工する位置

によって加工品質がばらつくという問題がある。その対策として、厚板切断に適した集光特性があり適正焦点位置範囲が広い長焦点レンズが有効である。また、加工機本体の機能として、発振器から加工レンズまでの伝送距離を一定に保つ機能が開発されている。

○アシストガスの条件

レーザー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が挙げられる。そのためアシストガスの種類や流量、圧力などの条件は被加工物の材質や要求品質に応じて最適値に設定する必要がある。

○切断部のガスシールドの効果

酸素濃度が低下するほど切断面の中央部から下部にかけての切断面荒れが著しくなる。酸素濃度99.6%以下では切断不良となりアシストガスの酸素濃度のわずかな低下で、切断性能が大きく低下する。レーザービームをアシストガスで包み込むような厚板切断用のノズルを使用することによりノズル径裕度は約2倍、焦点位置裕度、加工速度は約3倍になる。

炭酸ガスレーザーによる厚板の切断は、大きな可能性をもつものであるが、今後の進展のためには、さらに発振器の定格出力増加と長期間にわたるビーム品質の安定化が要求される。また、従来加工法との比較において、レーザー加工ではランニングコストの高くなる問題に対して、高付加価値加工の追求、従来加工法とレーザーとの併用加工法の確立など加工技術面での課題も多い。

さらに、厚板切断品質には材料の要因も重要であり、材料メーカーにより表面の面荒さ、酸化膜の厚さ、酸化膜の密着度、化学成分の割合などにばらつきがありこれらが切断品質に影響するとされている。現在、厚板の安定加工に対する材料の要因は、材料メーカー側の検討も始まり改善の方向にすすんでいる。

3. 感想

レーザー加工機の特徴である加工速度が早い、取り付けの手間がない、切削加工の様な工具磨耗がない、鋸盤による切断と違い入り組んだ材料取りが出来余材が少ない、工業材料に切れないものはない、等のことから、現在切削加工で不可能だったことの多くが可能になり、加工性の幅が飛躍的に広がる加工法だと思う。

しかし、厚板切断、表面改質など、まだ研究段階のことが多いので、今後の発展性が期待される加工法ではないかと思われる。

レーザー加工の特徴だけでなく、加工法の基礎、問題点などを知ることができたいへん有意義な研修会であった。