特集

新型・次世代レーザー加工の最先端

エキシマレーザとその加工応用*

上野 邦香**, 鈴木 孝彰**

上野 邦香

鈴木 孝彰

Excimer Laser Process and Application*

by UENO Kunika** and SUZUKI Takaaki**

キーワード

エキシマレーザ, 加工技術, 微細加工, 高分子材料, バリ, ナノ加工

1. はじめに

レーザが生産加工技術として利用されはじめて30余年経過しているが、そのサイクルは理化学機器としての新技術（装置）開発、加工技術応用、量産加工適用の繰り返しであり、スピードは年々加速傾向の一途をたどっている。現在は、より微細で高精度な加工品質が要求され、装置技術としては高輝度、高エネルギー効率、短波長、固体化、複合化と新たな展開を見せている。フェムト秒レーザによる超微細加工や、金属光造形複合加工（ラピッドプロトタイプング）、ファイバーレーザによる微細熱加工、ディスクレーザによる微細加工、精密3次元加工（QスイッチYAG）といった、マイクロ加工が量産適用され、ものづくりの現場に当然のように使用される時代がすぐそこまで来ている。あとは長期信頼性（安定性）や、加工速度、加工コストといった諸問題が解決されるのを待つばかりである。

弊社がレーザ加工、電子ビーム加工のジョブショップとして、受託加工に使用している装置の中で微細加工に適用しているのは、エキシマレーザである。エキシマレーザ光の有する光子エネルギーは、多くの被加工物を構成する分子間結合を解離するに足りるだけのエネルギーを持っている。また、金属などへの微細加工において、生産現場における現実的な加工解としての役割は非常に大きいものがある。今回はジョブショップで行っているエキシマレーザを用いた加工応用について説明する。

2. エキシマレーザとは

2.1 エキシマレーザの特長

図1にエキシマレーザの応用分野を示す。

エキシマレーザは、紫外・真空紫外域の高出力レーザとして半導体プロセス、光化学、医療、計測などの様々な

図1 エキシマレーザの応用分野

*原稿受付 平成15年9月22日

** 東成エレクトロビーム(株) Tosei Electrobeam Company Limited

産業分野に広範囲にわたって利用されている。それは波長領域が短く、高出力が得られることにある。レーザ出力はガス種変更により、短波域から広い波長域をカバーする。この波長領域の光を使い分け、新しい物質の合成や、低温で副反応のない光反応を行うことが可能になった。

2.2 エキシマレーザの長所と短所

長所：

- (1) 短波長
希ガスとハロゲンガスの組み合わせで、約 50 nm ごとに強いレーザ光が得られる
- (2) 高輝度
ごく短時間高密度励起が可能
- (3) 短パルス
短パルスの発熱により、高精度の熱加工に利用可能

短所：

- (1) 劣干渉
指向性を持ったビームが得られない
対策：共振器を不安定型にすることで干渉性のあるビームが得られる
- (2) ガスの短寿命
ハロゲン化合物が出力に悪影響
対策：部品のフッ化を抑制する(コーティング等)、液体窒素などで、ハロゲン化合物を冷却補収する

エキシマレーザによる加工は、光化学反応を巧みに使った効率の良い加工法である。

3. エキシマレーザの微細加工例

エキシマレーザ加工機（図 2：住友重機械工業製 INDEX 848）は波長 248 nm の KrF レーザである。紫外領域では金属の吸収率が上がり、それに伴い加工性も向上する。図 3 に化学結合エネルギーとレーザの光励起エネルギーを示す。KrF のレーザ光励起エネルギーは 115 kcal/mol あり、高分子材料の化学結合エネルギーと比較して大きい。よって材料の結合力を 1 光子で切断できる。エキシマレーザ加工では、化学結合を切断し、分解・気化・蒸散を経て、材料表面が爆発的に除去され、

図2 エキシマレーザ加工装置

周囲に熱ダメージを与えない極めてシャープな除去が起こる（アブレーション加工）。

弊社では金属、高分子材料（樹脂）、セラミックスの材料に対して、穴あけ・除去加工を行っている。以下にその加工例を紹介する。

3.1 金属への加工

エキシマレーザ加工では、レーザの入射側に加工物の構成元素と考えられるバリが付着する。バリのない加工をするには、ピコ秒やフェムト秒などの超短パルスレーザの使用が望ましいとされている。

弊社のナノ秒のパルス幅を持つエキシマレーザでバリを除去するテストに取り組んだ例を示す。

SUS 304（t=1 mm）に表面処理を施し、出射側穴径φ 0.08 mm の加工を行ったあとに表面処理を剥離し、入射側につくバリの状況を観察した（図 4）。

表面処理条件振り分けにより、剥離時バリ除去の可能性があることが分かった。本手法は材料の板厚および加工穴径に影響するため、今後データ採取による定量化へ取り組み中である。

次に、板厚の薄い SUS 304（t=0.05 mm）に出射側穴径φ 0.02 mm の加工を示す（図 5）。

レーザ加工後に、入射側の堆積物を化学研磨により除去して、表面状態を向上させている。また本材料の場合、入射側と出射側で穴のテーパが片側 5° 程度ついてしまう。化学研磨により穴径は若干大きくなる（特に出射側穴径）もののテーパは 2° 以下に抑えることができること

化学結合の種類	kcal/mol	レーザの種類	kcal/mol
H-H	104	ArFエキシマ	148
C-H	99	KrFエキシマ	115
C-N	70	XeClエキシマ	93
C=C	145	YAGレーザ	27
C-C	83	炭酸ガスレーザ	2.7
N-H	93		
C-O	84		
C=O	173		
N-N	38		
O-H	111		

図3 化学結合エネルギーとレーザの光励起エネルギー

表面処理	SEM 画像	バリ除去状態
A		×
B		×
C		△
D		○

図4 表面処理とバリ除去性の関係

図5 SUS 304 への微細穴あけ加工

図6 ポリイミドへの微細穴一括加工

図7 ポリエステルへの V 溝加工

を確認した。

3.2 高分子材料（樹脂）への加工

エキシマレーザは高分子材料への加工にも威力を発揮する。次に幾つかの加工例を紹介する。

(1) ポリイミドへの微細穴一括加工

弊社の装置はマスクイメージング法により加工を行うエキシマレーザである。専用のマスクを縮小して被加工面にレーザを照射する。マスクにユーザの欲しい穴径を拡大した穴を設定できるため、一括で穴加工を行いたい場合や、ある範囲だけを矩形に照射したい場合には有効である。図6はポリイミド (t=0.1) mm に出射側穴径φ0.01mm の加工（入射側面）の拡大である。実際は縦10列×横10列の合計100穴が一定のピッチで一括加工されている。

(2) ポリエステルへのV溝加工

加工法を工夫することでポリエステルにV溝加工が可能となる。図7はポリエステル (t=0.1 mm) に深さ

材 質	SEM 画像
ポリイミド
ポリサルフォン
ポリエステル
テフロン
アクリル樹脂
ポリエチレン

図8 各種高分子材料のエキシマレーザ穴加工

図9 ポリイミドへのナノ加工（上：全体図、下：拡大図）

0.05 mm、ピッチ 0.1 mm の加工したものである。V 溝と穴加工を組み合わせることで様々な応用が期待できると思われる。

(3) 各種高分子材料への穴加工

各種高分子材料に穴あけ加工を行った入射側の図を示す。高分子材料の厚みは様々ではないが、穴径は出射側φ0.1 mm 程度である（図8）。

KrF エキシマレーザの吸収係数はポリイミドが最もよくポリイミド (2.8×10⁵)、続いてポリサルフォン、ポリエステルとなる。吸収係数の大きいものほど熱影響の少ない加工ができることが、観察図からも確認された。また、吸収係数の低いポリエチレン (10以下) は、レーザの熱により表面の樹脂が溶け出してしまい、穴の形状が

図10 各種高分子材料のエキシマレーザ穴加工

崩れ、さらに穴側壁にも穴があくことが観察された。

KrF エキシマレーザで不得意な材料については、さらに波長の小さい ArF レーザ（波長 193 nm）を用いて加工することが適すると考えられる。

3.3 エキシマレーザのナノ加工への取り組み

高分子材料の中でも加工性の優れたポリイミドを使用し、現存設備での限界加工領域（ナノ加工）に取り組んだ結果を示す。

図9はポリイミド（ $t=0.125\text{ mm}$ ）に加工幅約 $5\mu\text{m}$ 、加工深さ約 500 nm の加工を行ったもので、表面は波型である。加工のみならず、表面改質の分野での応用が期待できる。

3.4 セラミックスへの加工

絶縁性、機械的強度など多くの特色を有するセラミックスはエキシマレーザ加工でも可能である。代表的なも

のにはアルミナセラミックス、窒化けい素、ジルコニアなどが挙げられる。

・アルミナセラミックスの穴あけ加工

図10は厚み 0.5 mm のアルミナセラミックスに出射側穴径 $\phi 0.08\text{ mm}$ の穴あけ加工を表している。テーパをなるべくなくした加工法で入射側と出射側穴径差は 0.05 mm 以下である。ただし、出射側では材料の一部が欠損する現象が観察され、穴形状を保つには研磨等の後工程が必要とされる。

4. おわりに

今回、弊社におけるエキシマレーザを利用した加工事例の一部について紹介した。

レーザのもつ、高エネルギー密度という特長を利用した微小領域への加工の可能性を、ハード、ソフト、+ α （工夫÷技能）のさまざまな観点から追求し、技術革新による新市場の創造と普及、および発展に努めていきたい。

参 考 文 献

- 1) 「エキシマレーザの開発とその応用技術・例」応用技術出版（1987）
- 2) 「機械技術 9月号」（2003）, Vol. 51, No. 9 日刊工業新聞社
- 3) 「マイクロマシン技術総覧」マイクロマシン技術総覧編集委員会（2003）
- 4) 「レーザエネルギー」MDS（1988）

溶接学会平成14・15年度会員名簿発行のお知らせ

- 発行予定日 平成16年1月発行
- 内 容 本会の機構・概要、役員・各委員会、全（個人・賛助）会員一覧、定款・規則、各支部概要、各賞受賞者、関係官庁・関連団体
- 価 格 5,000円（価格は、消費税込み、送料別400円）
- 申込方法 申込冊数、送付先氏名・住所、請求書の要・不要を明記してお申し込み下さい。
- 申 込 先 「名簿」係（社）溶接学会
〒101-0025 東京都千代田区神田佐久間町1-11
FAX 03-3253-3059 E-mail:jws-ms@t3rim.or.jp