

ICALEO2013

公益財団法人レーザー技術総合研究所

主席研究員 藤田雅之

(平成 25 年度国際会議等参加助成 AF-2013219)

キーワード：レーザー加工、炭素繊維複合材、三次元造形

1. 開催日時

2013 年 10 月 7 日～10 日

2. 開催場所

Hyatt Regency Miami, Miami, Florida U.S.A.

3. 国際会議報告

3. 1 会議概要

レーザー加工関連の国際会議である ICALEO2013 (32nd Int. Congress on Applications of Laser & Electro-Optics) が 10 月 7～10 日に米国マイアミで開催された。参加者は 340 名程度 (うち米 140、独 68、中国 23、仏 19、日本 19) で、溶接、切断等の熱加工を中心とした Laser Material Processing Conference (LMP)、微細加工を中心とした Laser Microprocessing Conference (LMF)、ナノテクに関連した Nanomanufacturing Conference (Nano)から構成されていた。それぞれのセッション数は、21、10、5 といった規模であった。ちなみに、昨年度の参加者は 450 名程度 (うち米 154、独 72、英 17、日本 27、中国 27)、一昨年度は 500 名程度 (うち独 80、英 27、中国 27、日本 17) であった。

会議を特徴付けるプレナリーセッションのテーマは「Digital Photonic Production Across All Scales」であり、最近注目の 3D プリンターに関連した話題が目白押しであった。

3. 2 CFRP のレーザー加工

CFRP のレーザー加工に関する講演が 11 件あった (独 5 件、日 2 件、仏 2 件、米 1 件、トルコ 1 件、)。ちなみに、2012 年は 10 件 (独 : 6、仏 : 2、日 : 1、英 : 1) であり、ICALEO では 2008 年に 1 件、2009 年に 0 件、2010 年に 7 件、2011 年に 6 件とここ 5 年で CFRP のレーザー加工の発表件数が増加

してきている。CFRP のレーザー加工はドイツにおいて盛んに行われており、セッション全体として広範囲な波長 (266nm～10 μ m) やパルス幅 (ps～CW) のレーザーを用いて融着、切断等の加工現象が調べられている。Stuttgart 大学 (独シュツットガルト)、LZH (独ハノーバー)、TAI (トルコ) はナノ秒パルス、Fraunhofer ILT (独アーヘン) は高繰り返しピコ秒パルス、IWS (独ドレスデン) は YAG/CO₂ の同時照射、CNRS (仏)、IPG (米) は CW レーザーによる加工あるいは加工現象の観察を発表していた。パルス繰り返し 100kHz～MHz で数 100W、CW では kW クラスのレーザーが用いられてきている。加工のスループットが求められているようである。

Dresden の IWS 研究所では CO₂ レーザーと YAG レーザーを同軸で照射する光学系が開発されていた。CFRP の炭素繊維と樹脂をそれぞれ YAG レーザーと CO₂ レーザーで加工したり、CFRP と GFRP を同じシステムで加工することが可能となる。以下に、LZH、Fraunhofer ILT 各研究所からの発表を報告する。

3. 2. 1 LZH における CFRP のレーザー加工

LZH は 6kW-ファイバーレーザーを用いた切断試験結果と紫外ナノ秒レーザーを用いた表面処理の結果を報告していた。6kW-ファイバーレーザーを用いた切断試験では、熱影響層 (HAZ : Heat Affected Zone) の幅と加工試験片の強度の関係を調べている。レーザー光の掃引速度を 1.2～13m/min. と変化させて引っ張り強度を調べた結果、掃引速度が速いほど HAZ が小さく引っ張り強度が上がり、機械加工と遜色ない程度まで強度が保てるとのことであった。

一方、紫外ナノ秒レーザー (10W、80kHz、40ns) を用い

た表面処理においては、CFRP や GFRP を試料として接着力向上のための表面粗さの最適化が行われていた。適度な表面粗さを与えると濡れ性が向上し接着力が上がることが期待される。ただ、現段階では濡れ性と接着後のせん断強度との関係はまだ調べられていなかった。LZH はこれまで、損傷を受けた CFRP の修復のために損傷部周囲をレーザーで削る研究を進めていたが、損傷部をふさぐための表面処理の研究へと移行してきている。

3. 2. 2 Fraunhofer ILT における CFRP のレーザー加工

Fraunhofer ILT は、波長 1030nm、パルス幅 1.4~7.5ps、平均出力最大 430W のレーザーを用いた CFRP の切断加工（掃引速度は 20m/s）を発表していた。パルス繰り返し周波数は 1.4~6.3MHz で可変である。繰り返し周波数を 1.4MHz に固定して平均パワーを変化させると、アブレーションレート（mm³/min.）は平均パワーにほぼ比例するが、HAZ の幅は 100W 以下で 25 μ m、300W で 75 μ m に対して 400W で 200 μ m 以上へと一気に増加することが報告された。一方、照射フルエンスを 1J/cm² に固定して繰り返し周波数を変化（平均パワーも比例して変化）させると、1.5MHz~6MHz（100W~400W）の領域で HAZ の幅が 60 μ m 前後とほとんど変化しないことが報告された。また、6MHz でパルス幅を変化させた際には、HAZ に対するパルス幅の影響は小さいようである。加工の品質を保ちつつスループットを向上させるには、パルス繰り返しを増加させるといった手法が有効のようである。

3. 3 三次元造形

レーザーを用いた三次元造形（会議では、LAM : Laser Additive Manufacturing）においては、メートルサイズからマイクロ、ナノサイズまでの研究事例が多数ある。実際には市販の三次元造形装置の最大サイズは 1.5m 程度であり、基礎研究レベルではナノ粒子を積み上げた場合は数 10nm 程度となっている。また、Fraunhofer ILT は DPP (Digital Photonic Production) という言葉を使って、LAM を Additive DPP、従来の加工を Ablative DPP と称しており、今後のレーザー加工においては Digital data を駆使することが重要であるということ

を提唱している。金属の三次元造形においては、LMD (Laser Metal Deposition) と SLM (Selective Laser Melting) という二つの手法が主流である。LMD はパウダーを吹き付けながら或いはワイヤを接触させてレーザーで溶かして造形する方法であるが、ノズルの形状や粉末の吹き付け方、レーザースポットの大きさ、焼結後の密度などクラディングをベースとしたデータが報告されていた。LAM の欠点である造形後の表面粗さを改善するための技術、いわゆる post-processing として、レーザーを用いて研磨あるいは多結晶化させる技術は興味深く感じられた。また、中国の台頭が目覚ましく、研究費をふんだんにつぎ込んで力任せに研究を進めているという印象を受けた。

3. 3. 1 マイクロ三次元造形

LAM の中でも積層サイズが数 100 μ m 以下のものが μ -LAM と呼ばれるようになっている。一例として、燃料電池内の bipolar plate（あるいは、セパレータ）表面に金メッキを施す代わりに 530 箇所の金接点（直径約 100 μ m）を LMD により形成したという報告があった。面から点に変えることで計算上は材料を 90% 節約できるが、現状の課題としてパウダーの利用効率が 50% とのことであった。一方、SLM においては積層サイズを小さくするためには材料を溶かすサイズ（溶融池）を小さくする必要があり、CW レーザーよりも数 100 μ s 程度のパルスレーザーを用いることが有効であるとの報告があった。また、積層面の段差を超短パルスレーザーで研磨するという試みも試されていた。表面のアブレーションまたは繰り返し周波数 MHz での照射による再溶融によって表面粗さが改善されるようである。

3. 3. 2 レーザー転写

LAM は基本的に材料を溶かして積み上げていく手法であるが、時には（生体細胞や結晶など）溶かしたくない材料を積み上げたいという要求も出てくる。そこで活躍するのがレーザー転写と呼ばれる技術である。レーザー転写はドナー基板上で成長させた材料をパルス照射によって（溶かさずに）吹き飛ばしてターゲット基板上に転写する技術であり、 μ

-LAM 技術の一つであるという位置づけが与えられていた。
今回、レーザー総研からは強誘電体 BST のレーザー転写を報告したが、 μ -LAM のセッションに組み込まれていた。期せずして時流に乗っていたという感じであった。

プレナリーセッションでは、細胞のレーザー転写技術についての報告があった。レーザーパルス当たり 100 個の細胞を転写・積み上げていくことが原理的には可能であり、人間の細胞の数 10^{15} 個に対して 100kHz のレーザーを用いれば 2 時間 45 分で人間の造形が実現するとジョークが述べられるほどであった。

謝辞

本国際会議参加への助成をいただいた天田財団に感謝いたします。