

YAG レーザを用いたレーザーフォーミングにおける照射方法の検討

岡山大学大学院 ○田中 俊輔, ZAZULI MOHID, 岡本 康寛, 宇野 義幸
中部大学工学部 難波 義治

要 旨

YAG レーザを用いたプラスチックのレーザーフォーミングでは、照射プロセス中に生じる曲げ角の減少が加工の制御性に影響を及ぼす。そこで新たな手法として直線往復スポット照射法を試みたところ、照射回数の少ない時にはスキャン照射法よりもレーザー光照射中の曲げ角の減少量が小さく、曲げ角の制御性が向上することが明らかとなった。

1. 緒 言

一般に、プラスチック材料の成形は金型を用いた射出成形や圧縮成形が主流である。これらの成形方法は能率が高く、大量生産に有用である。しかし、高価な金型を部品ごとに用意する必要があり、多くの段取り時間も避けられない。一方、局所的な温度勾配を利用したレーザーフォーミング法は金型を必要としないことから多品種少量生産に適しており、大型の装置も必要としない。一般に、レーザーフォーミング法ではレーザー光を照射させたい箇所に直線状に連続的に照射する手法（直線往復連続照射法）が用いられる。しかし、プラスチック材料にレーザーフォーミング法の照射を行う場合、材料は熱に対して非常に敏感な反応を示す。そのため前述の直線往復連続照射法を用いると、プラスチック材料はレーザー光照射中に曲げ角が減少するという現象がおこるため、曲げ角の精密な制御が難しくなる。そこでこの点を克服するための新たなレーザー光照射方法として、断続的に照射を行う直線往復スポット照射法を提案する。本研究では高密度ポリエチレンと ABS 樹脂に対して直線往復連続照射法と直線往復スポット照射法を用いてレーザーフォーミングを行い、照射方法が各材料の変形特性に及ぼす影響について比較、検討を行った。

2. 実験方法

図 1 に実験装置の模式図を示す。レーザー発振器には波長 $1.064\mu\text{m}$ 、定格出力 15W の Nd:YAG レーザを用いた。ポンピングにはクリプトンアークランプを用いており、連続波として出力される。発振器から出力されたレーザー光は直径約 5mm のガウスモードである。そのレーザー光をエキスパンダで約 2 倍に拡大して平行光とし、その後、 $5\times 5\text{mm}$ の正方形スリットを用いて強度分布が比較的一様な矩形マルチモードとして試料に照射した（図 1 の Beam profile 参照）。試料には幅 30mm 、長さ 60mm 、厚さ 1mm の結晶性材料の高密度ポリエチレンと非晶性材料の ABS 樹脂を使用した。両試料は白濁色のため、そのままの状態ではレーザー光を吸収しにくい。そのため試料表面にあらかじめ黒色の水溶性アクリル樹脂塗料を塗布してレーザーの吸収率を 97% とした上で実験を行った¹⁾。

図 2(1) に示すように、直線往復連続照射法では、レーザー光を鉛直下向きに保持した試料の下端から 20mm の位置に照射した。なおレーザー光の送り幅は試料幅よりも大

きく設定し、試料に 1 回レーザー光が照射されるごとに 60s の休止時間を与え、冷却が十分に行われるようにした。一方、新たな照射方法として提案する直線往復スポット照射法では、(2) に示すようにレーザー光照射領域である $5\text{mm}\times 30\text{mm}$ を $5\text{mm}\times 5\text{mm}$ の 6 つの領域に分割する。そして 5 秒間のスポット照射を左端から $1\rightarrow 3\rightarrow 5$ の順に行い、 60 秒間の冷却期間を設ける。その後右端から $6\rightarrow 4\rightarrow 2$ の順に残りの 3 箇所を照射して 60 秒間の冷却時間を与え、この工程を所定の回数だけ繰り返した。

なお、加工中にレーザー式変位計（KEYENCE 社製、LB-080）を用いて試料先端部中央の変位量を測定することで曲げ角を求めた。また試料表面温度は赤外線熱画像装置（NEC 三栄社製、TH7102WX）を用いて測定した。

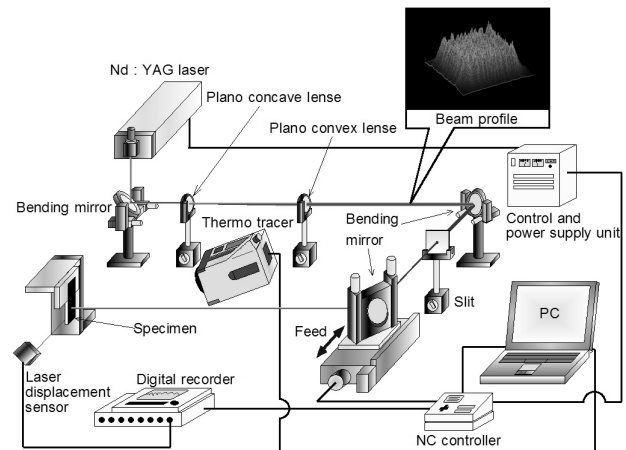


Fig.1 Schematic diagram of experimental setup

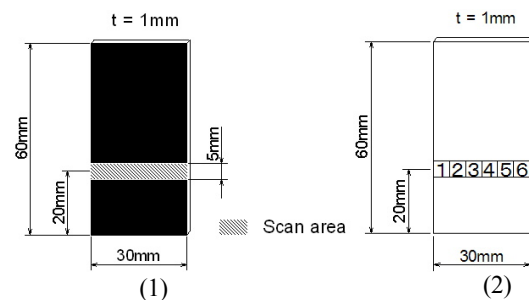


Fig.2 Irradiation method

3. レーザ光照射実験

図3は高密度ポリエチレンに対してレーザフォーミングを行った時の曲げ角の時間的推移であり、図中のハッチングはレーザ光が試料に照射されている期間を示している。ここではレーザ出力1.0W、送り速度1.0mm/sによる直線往復連続照射法と、レーザ出力1.0Wの直線往復スポット照射法を行った。図から直線往復連続照射法ではレーザ光照射中の曲げ角の減少量が大きく、微細な成形を行う上では制御性を欠くことがわかる。一方、直線往復スポット照射法では、レーザ光照射時の曲げ角の減少量は、直線往復連続照射法の時よりも小さく、制御性の良い安定した加工が行えることがわかる。

図4はABS樹脂に対して直線往復スポット照射法で30回照射を行ったときの曲げ角の時間的推移を示したものである。非晶性材料であるABS樹脂は、直線往復連続照射法においても図3で示した結晶性材料である高密度ポリエチレンよりも制御性に優れている。これには結晶性材料における結晶の融解潜熱量や結晶の融解にもなう体積変化などが影響していると考えられる。また直線往復スポット照射法を行うことにより、レーザ光照射中の曲げ角の減少量が少なくなり、レーザ光照射回数に対して曲げ角は直線的に増加している。このように、結晶性材料よりも非結晶性材料を用い、さらに直線往復スポット照射法を用いると制御性の良い安定した加工が行えること明らかになった。

4. 試料表面の長手方向応力の検討

非定常解析が可能な汎用有限要素法プログラム (Ansys Rev.10.0) を用い、図5に示すようなモデルで高密度ポリエチレンを試料として熱伝導応力解析を行った。レーザ光は試料端から20mmの位置に与え、直線往復連続照射法では送り速度1mm/s、直線往復スポット照射法では1箇所への照射時間を5sとして実験と同様の順にレーザ光を照射した。レーザ光は試料表面でのみ吸収される熱流束とし、吸収率を考慮して与えた。また、レーザ光照射部以外のモデル表面は温度23℃の空気との対流熱伝達状態とした。

図6は照射開始20s後における直線往復連続照射法と直線往復スポット照射法における試料表面長手方向(Y方向)の応力分布の解析結果を示している。図中、引張り応力を正、圧縮応力を負として表示している。両照射法ともレーザ光照射部では試料の熱膨張により圧縮応力が発生しており、負方向への曲げ発生が推測される。また、両照射法を比較すると、直線往復連続照射法ではレーザ光走査線上においてレーザ光照射部以外は一樣な応力状態となっている。一方、直線往復スポット照射法ではスポット照射のために、すでに引張り応力を生じている箇所がある。そのためレーザ光照射中においても負方向への曲げが抑制されるため曲げ角の減少量が少なくなったものと考えられる。

参考文献

- 岡本康寛ら:プラスチックの精密レーザフォーミングに関する研究, 精密工学会誌, 66, 6, (2000) 891.

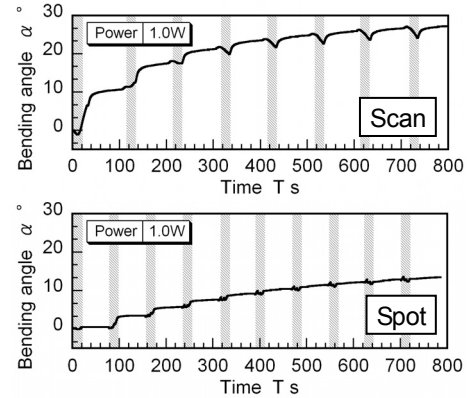


Fig.3 Change of bending angle in the case of HDPE

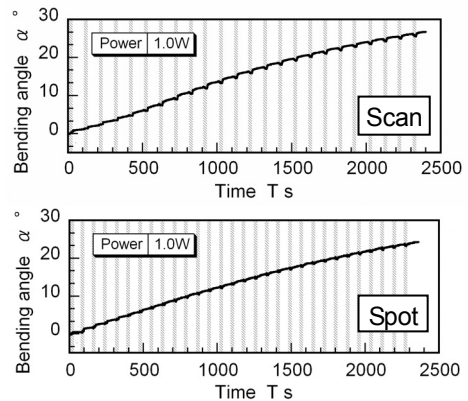


Fig.4 Change of bending angle in the case of ABS

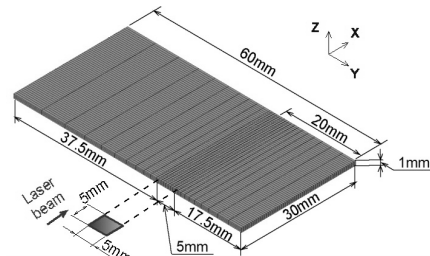


Fig.5 FEM analysis model

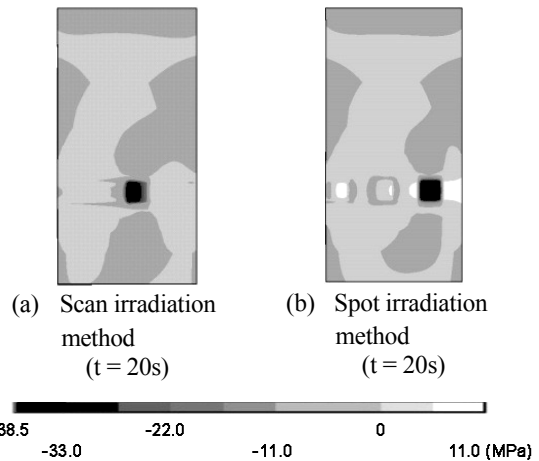


Fig.6 Stress distribution of specimen surface