

レーザー照射を受ける薄板の熱弾塑性解析 (二度目の重ね照射における照射間隔と温度条件の関係)

Thermo-elasto-plastic Analysis for a Thin Plate Subjected Laser Irradiation

(Relation between the Temperature Condition under Second Overlapping Irradiation and the Irradiation Distance)

○前田 大樹¹, 加藤 保之²

Daiki MAEDA¹, Yasuyuki KATO²

Abstract: This paper describes the methods for distributing the residual bending moment efficiently in a thin metal plate. In our previous study, the distributions of residual moment generated by the overlapping irradiation have been examined. However, it became clear that the residual moment cannot be distributed effectively by conducting the overlapping irradiation only once. Then, in this paper, the second overlapping irradiation is examined. The temperature conditions for distributing the residual moment effectively under second overlapping irradiation are revealed.

1. 緒言

金型を用いずに、残留モーメントをあらかじめ金属の薄板内部に分布させ、再度曲げモーメントを加えることで、残留モーメントを分布させた位置に塑性関節を形成させて行う局部塑性曲げ加工が考えられる。そこでこの加工に着目し、裏面を冷却してレーザー照射を行い、残留モーメントを効果的に分布させる方法を検討してきた。

この場合、曲げ加工を行う方向に沿ってレーザーの照射位置を移動させる場合を検討する必要がある。そこでこれまでの研究ではレーザーの単一照射後、常温まで完全に冷却し、その点と隣接する位置に次の照射を行う断続照射を考え、その一連のプロセスを繰り返し行う多点照射時の熱弾塑性解析を検討してきた。その結果、残留モーメントの分布は山形の形状となり、照射間隔が狭い場合には、照射回数の増加と共に、過去に生成された残留モーメントが減衰するため、最初の照射点の近くでは残留モーメントが減少し、広範囲に山形の波形を均一に大きく分布させることができないことが明らかとなった。一方で、照射間隔が広い場合には、山形の波形を広範囲に分布させることが可能であるが、山形の波形の間隔が広いために、残留モーメントの小さい谷の部分形成されることが明らかとなった。そこでこれまでの研究では、照射間隔が広い条件に着目して、山と山の波形の間に新たな照射を重ねることで、谷の部分の残留モーメントを増加させ、山と谷の振幅を小さくする方法を検討してきた。しかし、滑らかな分布を得るためには、重ね照射を一度行うだけでは必ずしも十分であるとはいえない。

そこで、本研究では、一度目の重ね照射で新たに形成された谷の部分に再度重ね照射を行う二度目の重ね照射の数値解析を試みる。そして、種々の照射間隔の下で、二度目の重ね照射後に残留モーメントの分布が滑らかなる最適な温度条件を調べる。

2. 理論

2-1 一度目の重ね照射で得られる残留モーメント

図 1 (a) は、最初の多点照射の後にその 1 点目と 2 点目の照射位置の間に、一度目の重ね照射の 1 点目の照射

を行った時の照射の進行方向に沿う残留モーメントの分布を模式的に表したものである。この図中の r_1^* は多点照射の 1 点目の照射点から一度目の重ね照射の最初の照射点までの距離である。 r_1^* の位置に一度目の重ね照射を行うことによって、この近傍の残留モーメントの分布が増加し、山と谷の振幅を小さくすることができる。

2-2 二度目の重ね照射で得られる残留モーメント

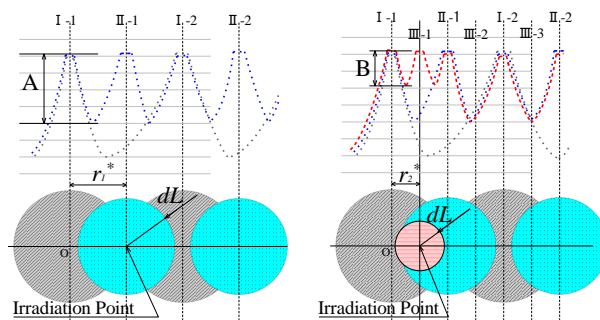
更に山と谷の振幅を小さくし、滑らかな分布に近付ける方法として、本研究では、一度目の重ね照射で新たに形成された谷の部分に再び重ね照射を行う場合を検討する。図 1 (b) は、一度目の重ね照射後に多点照射の 1 点目と重ね照射の 1 点目の照射位置の間に、二度目の重ね照射の 1 点目の照射 (r_2^* の位置) を行った時の模式図である。この二度目の重ね照射により山と谷の振幅 (図 1 (b) 中の B) は、一度目の重ね照射時の振幅 (図 1 (a) 中の A) に比べて更に小さくできる。

2-3 二度目の重ね照射における温度条件

本研究では、二度目の重ね照射の山の高さとして一度目の重ね照射の山の高さの差が最も小さくなる温度を二度目の照射の適切な温度条件と考える。

3. 解析結果

板厚 0.3 [mm]、降伏応力 $\sigma_Y=245$ [MPa] の軟鋼の平板に、過去に行った温度測定実験の結果に基づき、レーザーを 134 [sec] 間照射した条件の数値解析結果を以下に説明する。



(a) The first overlapping irradiation (b) The second overlapping irradiation
Fig.1 Distribution of residual moment along the x-axis

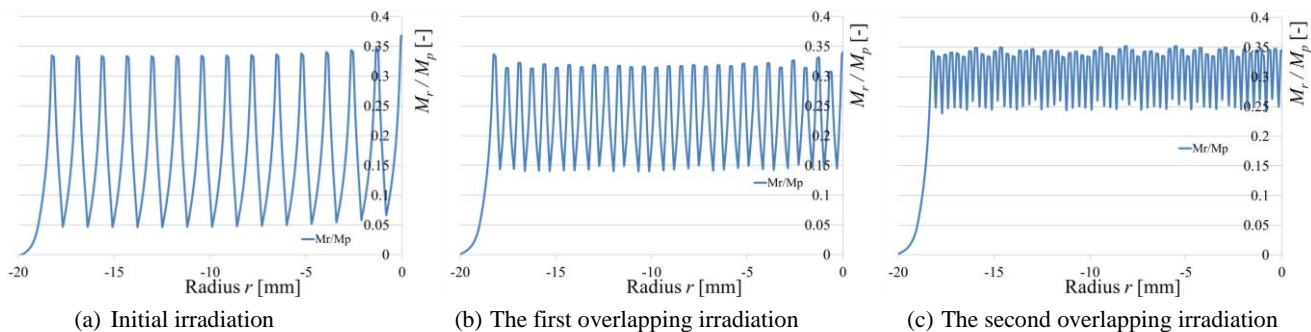


Fig.2 Distribution of residual moment ($r_i=1.3[\text{mm}]$)

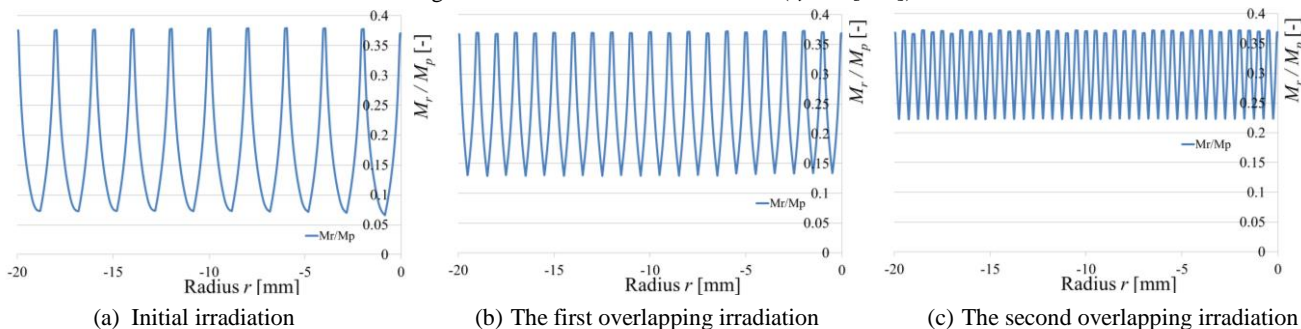


Fig.3 Distribution of residual moment ($r_i=2.0[\text{mm}]$)

3-1 照射間隔 r_i と残留モーメントの分布の関係

図 2 は、数値解析の一例として、照射間隔 $r_i=1.3[\text{mm}]$ の場合に対して、(a) 最初の多点照射、(b) 一度目の重ね照射、(c) 二度目の重ね照射の後に得られる残留モーメントの分布を表している。(a) の最初の多点照射における山形の波形の山と谷の振幅は大きく、一度目の重ね照射後には、この振幅は半減していることが確認できる。更に、二度目の重ね照射後には、この振幅は更に半減して、より滑らかな分布に近づくことがわかる。また、山と谷の平均値は、二度目の重ね照射によって、増加することがこの図より確認できる。

次に照射間隔を大きくした場合の一例として、図 3 に、照射間隔 $r_i=2.0 [\text{mm}]$ について、(a) 最初の多点照射、(b) 一度目の重ね照射、(c) 二度目の重ね照射の残留モーメントの分布を示す。この場合も図 2 の結果と同様に一度目の重ね照射後には、波形の振幅は小さくなり、二度目の重ね照射後には、更に小さくなり滑らかな分布に近づくことが確認できる。なお、図 2 の $r_i=1.3[\text{mm}]$ の結果と比較すると、一度目の重ね照射後の波形の振幅は、あまり減少していないのに対し、二度目の重ね照射後には、波形の振幅は、大きく減少していることが確認できる。

3-2 二度目の重ね照射における最適な温度条件

次に、照射間隔を種々 ($r_i=1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.0[\text{mm}]$) に変えて、波形の山の高さがほぼ同一値となるまで重ね照射時の温度を下げて得られる最適な温度条件を調べた結果を図 4 に示す。この図で、青の曲線が一度目の重ね照射、赤の曲線が二度目の重ね照射における最適な温度を表している。これらの曲線から明らかなように、二度目の重ね照射におけ

る最適な温度は照射間隔が小さい程、一度目の結果に比べ高くなるのがわかる。また、照射間隔が狭い場合には最適な温度は低くなり、照射間隔が広がるにつれて最初の多点照射の温度条件 (625°C) に近づく。

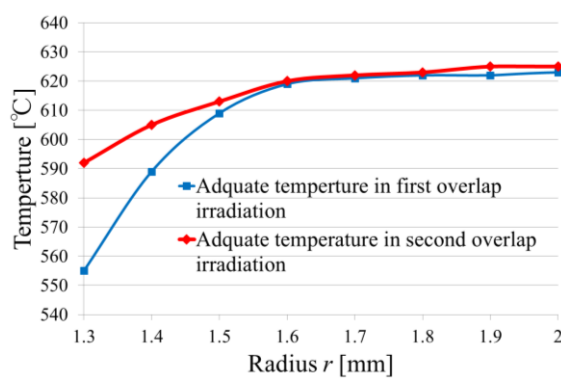


Fig.4 Optimum temperature condition

6. 結 言

二度目の重ね照射を試み、残留モーメントの分布を一度目の重ね照射と比較し、以下の結論が得られた。

- (1) 照射の間隔が小さくなる程、二度目の重ね照射後に残留モーメントの分布が滑らかになる最適な温度条件は、下げる必要がある。また、一度目の重ね照射に比べて二度目の重ね照射の最適な温度条件は、高い値となる。
- (2) 二度目の重ね照射後には、山と谷の振幅は半減して、より滑らかな分布に近づく。また、照射間隔が広いほど波形の振幅は増大し、滑らかな分布が得られなくなる。