

炭素鋼の熱源移動を伴うCO₂レーザー焼入れ過程の変態・熱・力学的解析

京都職業能力開発短期大学校
京都大学エネルギー科学研究科

正 ○中崎一之
正 井上達雄

1 緒 言

レーザービームを用いた焼入れは、大気中で、しかも非接触で、必要な部分进行处理できることや、加熱の後で水や油などによって冷却を施す必要がないといった特徴をもっている。とくに、ある程度の面積进行处理する必要がある場合には、CO₂レーザー¹⁾などを用いて、処理を施したい表面上でレーザービームを移動照射することによって加熱し、冷却は母材内部への熱拡散を利用した自己冷却効果を用いている²⁾。

しかしながら、焼入れの対象とする材料に適した焼入れ処理を行うためには、レーザー照射によって急速にかつ部分的に変化する温度分布や組織の体積分布、力学場などの様子を、時間の変化とともに知る必要があるが、これらの測定については、処理速度があまりにも速すぎるため不可能に近い。また、この方法は、母材全体を3次元的にみると、熱源が移動するため、同時刻に加熱部と冷却部が混在する複雑な熱処理過程であるといえる。

ところで、著者らは、パルスYAGレーザーなどを用いた、表面の局部焼入れ過程について、組織-温度-応力の連成を考慮して解析し、その有用性について検証した結果を報告している³⁾。そこで、本研究では、この応用として熱源移動を伴う炭素鋼のCO₂レーザー焼入れ過程の様子をCAEシステム“HEARTS⁴⁾”を用いて3次元モデルで解析したので報告する。

2 レーザービーム照射条件と解析方法

本研究における解析は、Fig. 1に示すように、20mm×20×70mmの形状をもつ炭素鋼(S45C)にCO₂レーザーを用いて、発振形態：連続発振、発振出力：1500W、移動距離：30mm、移動速度：10mm/s、雰囲気：大気中の条件で長手方向に照射したときに行われる焼入れ過程とした。

“HEARTS”によるシミュレーションは、レーザービーム

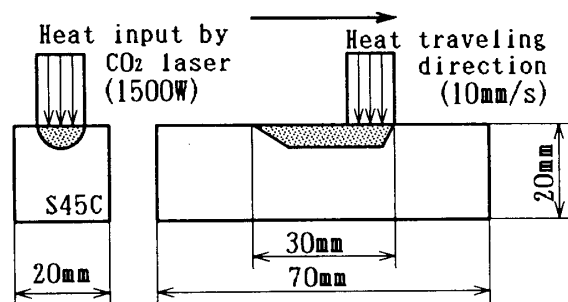


Fig. 1 Laser beam irradiation condition.

移動方向に対して、温度分布等に対称性があることから、片側のみを解析することとし、節点数2706、要素数2080の3次元8節点要素を設定した。このとき、レーザービームが照射される表面は熱流束境界、照射されない表面は熱伝達境界とし、力学的条件としては、対称面、下面および照射開始側端面を固定変位境界、その他の面を自由変位境界とした。

また、解析前の試料および外気は室温($T=293\text{K}$)にあるものと設定した。なお、S45Cの実際の基地組織は初析フェライト+パーライトの亜共析鋼であるがこのシミュレーション上でこれをまとめてパーライトと称する。

3 解析結果および考察

まず、焼入れ過程における温度分布の変化と変形の様子をFig. 2に示す。Fig. 2から試料のレーザー照射された部分は急激に加熱され、 $t=0.5\text{s}$ の時にはすでに、パーライトがオーステナイトに変態する $T=996\text{K}$ 以上の温度になっており、また、変形の様子から、この部分が最も膨張していることもわかる。そしてレーザービームの移動に合わせるように、この最高温度部も変態点以上の温度を保ちながら移動し、レーザー照射が終了する $t=3\text{s}$ まで続く。そして、これ以降は、試料全体への熱拡散によって急激に冷却され、シミュレーション終了時の $t=3600\text{s}$ では室温($T=293\text{K}$)に冷却される。

つぎに焼入れ過程におけるオーステナイトおよびマルテンサイト組織の体積分率の変化の様子をFig. 3およびFig. 4に示す。Fig. 3からオーステナイトは $t=1\text{s}$ であられ、 $t=2\text{s}$ にかけてその分布体積が増加することがわかる。そして、 $t=2\text{s}$ からレーザー照射が終わる $t=3\text{s}$ にかけては温度分布と同様に、一定の体積分布を保ちながらオーステナイト変態部も移動する。また、Fig. 4からマルテンサイト組織は、レーザービームの移動に遅れて、 $t=1.5\text{s}$ の時あらわれはじめる。そして、照射が終了した $t=3\text{s}$ をこえても、 $t=5\text{s}$ までその領域は増加を続ける。

さらに、焼入れ過程におけるレーザービーム照射方向に対する引張・圧縮応力の変化と変形の様子をFig. 5に示す。Fig. 5から $t=0.5\text{s}$ の時、レーザー照射している面に圧縮応力の最大値があらわれることがわかる。これは、温度分布の最高値およびオーステナイトの分布と一致している。そして、 $t=3\text{s}$ まで、レーザービームの移動とともに、圧縮応力の最大値も移動する。また、この圧縮応力の移動後に、冷却効果によって引張応力があらわれ残留する。これは最終的にマルテンサイト組織となった部分と一致する。そして、その周りにあるパーライト+マルテンサイトからなる中間組織⁵⁾には圧縮残留応力があらわれる。

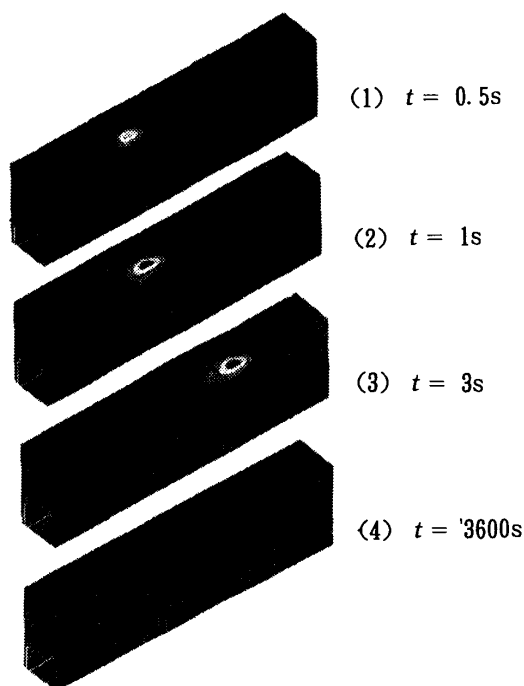


Fig.2 Simulated results of temperature and deformation.

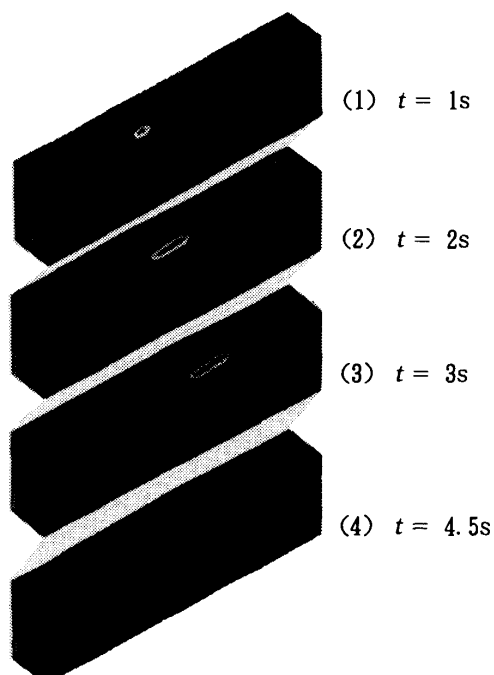


Fig.3 Simulated results of austenite distribution.

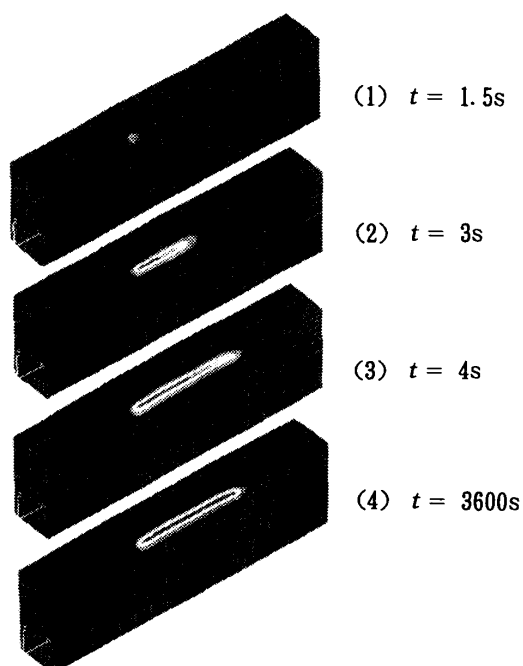


Fig.4 Simulated results of martensite distribution.

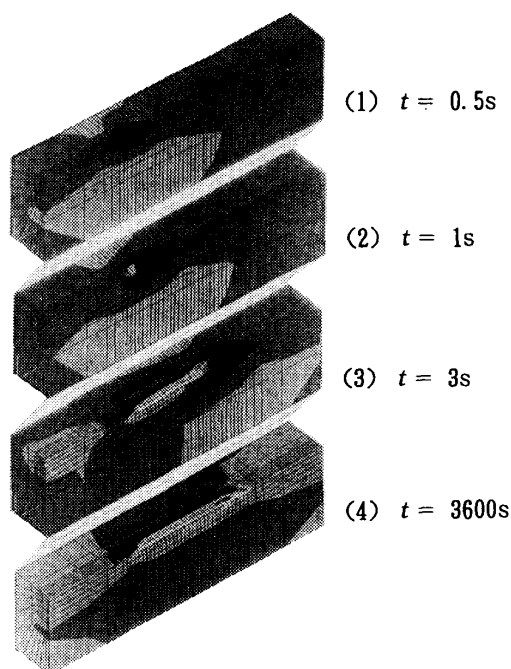


Fig.5 Simulated results of stress σ_x and deformation.

4 結 言

熱源移動を伴う炭素鋼のCO₂レーザ焼入れ過程の様子を温度-組織-応力の連成関係を考慮して3次元モデルで解析し次のことがわかった。

(1) レーザビームの移動にともなって温度分布も移動し、この部分が最も膨張する。

(2) オーステナイト組織はレーザビームの移動にほぼ一致し、それより遅れてマルテンサイト組織があらわれる。

(3) 加熱中のオーステナイトには圧縮応力が生じ、硬化部であるマルテンサイト組織には引張応力が残留する。

参 考 文 献

- 1) 宮崎他, "レーザ加工技術" (1991) 産業図書.
- 2) 片岡, 宮崎, 鋳物, **65**, 215 (1993).
- 3) 中崎, 井上, 材料, **46**, 268 (1997).
- 4) 井上, 有本, 材料, **44**, 103 (1995).