



レーザー硬化処理に関する研究

牧之内 三郎* 大村 悦二**

1. はじめに

1960年に Maiman によってはじめてルビーレーザーが発振して以来、レーザーの研究・開発は著しい発展を遂げ、その応用分野も急速に拡大している。レーザー加工は、その中の一つとしてレーザーの開発当初から注目されてきた最も新しい加工技術である¹⁾。レーザー加工に用いられる主なレーザーは、ルビー、YAG、ガラス、 CaWO_4 などの固体レーザーおよび炭酸ガスレーザーで、穴あけ、切断、トリミング、溶接などがすでに実用化されている²⁾。General Motors 社でギヤハウジング内面の耐摩耗性向上のためにレーザーが適用されてから、最近では特にレーザー硬化処理が注目されている。

高エネルギー密度のレーザービームを鋼材表面に短時間照射して局部的に加熱すると、その近傍はオーステナイト域に達し、加熱直後に材料自身の熱拡散によって急激に自己冷却されるため、その局部はマルテンサイト変態による硬化を生じる。これが硬化処理の概要である。このため、レーザー硬化処理には ①短時間で処理できる、②複雑な形状をした部品の一部だけを硬化させることができる、③大気中で処理できる、④非接触処理である、などの利点がある。

ところで、得られる硬化層の大きさはレーザー照射条件によって異なる。したがって、汎用性のある硬化処理技術として近い将来実用化されるためには、レーザー照射条件と硬化層領域の関係をあらかじめ明らかにしておくことが必要であり、熱伝導論の立場からこの点の考察が行われている。その場合重要な問題となると思われる

る事柄をいくつか取り上げ、それらに対する筆者らの考えを簡単に紹介する。

2. 温度分布解析

一般に行われているレーザー硬化処理方法は、鋼材表面上にレーザービームを移動させながら照射する方法である。これは、ガウス型分布などをした熱源が物体表面上を移動する典型的な移動熱源問題であり、熱伝導論を適用すれば物体内の温度分布を理論的に解析することができる。レーザー硬化処理に関する従来の研究では、熱源が半無限体表面を移動するモデルがすべて用いられている。しかし、レーザー硬化処理は、将来精密機器の部品などにも多く利用されると考えられ、こうした比較的小さい部品やエッジ、円筒面といった部分を硬化させる場合に、半無限体モデルで得られたレーザー照射条件をそのまま適用することには問題があるように思われる。このような場合には、有限体モデルによってレーザー照射条件と硬化層領域の関係を明らかにしておく必要があると考えられる。その一例として、筆者らは有限平板を取り上げ、TEM₀₀モードのレーザービームを平板に照射したときの温度分布の理論式を導き、数値例によって熱源近傍の温度分布を求めている³⁾。

一般に、3次元的に有限な単純形状モデルについての温度分布の理論式は3重無限級数で表され、熱源がガウス型分布などを行っている場合には、その各項に2重積分を含むといった複雑な形になるのが普通である。したがって、具体的に数値計算を行うにあたって、短時間で十分な精度をもつ解が得られるように数値計算上の考察を行うことが必要不可避である³⁾。

3. 硬化層領域の推定

前節の理論式を用い具体的な数値計算を行って得られる温度分布から、レーザー硬化処理で実際に硬化する領域を推定しようとする場合、重

*牧之内三郎 (Saburo MAKINOUCI), 大阪大学, 工学部, 精密工学科, 教授, 工学博士, 計算機制御

**大村悦二 (Etsuji OHMURA), 大阪大学, 工学部, 精密工学科, 助手, 工学修士, 計算機制御

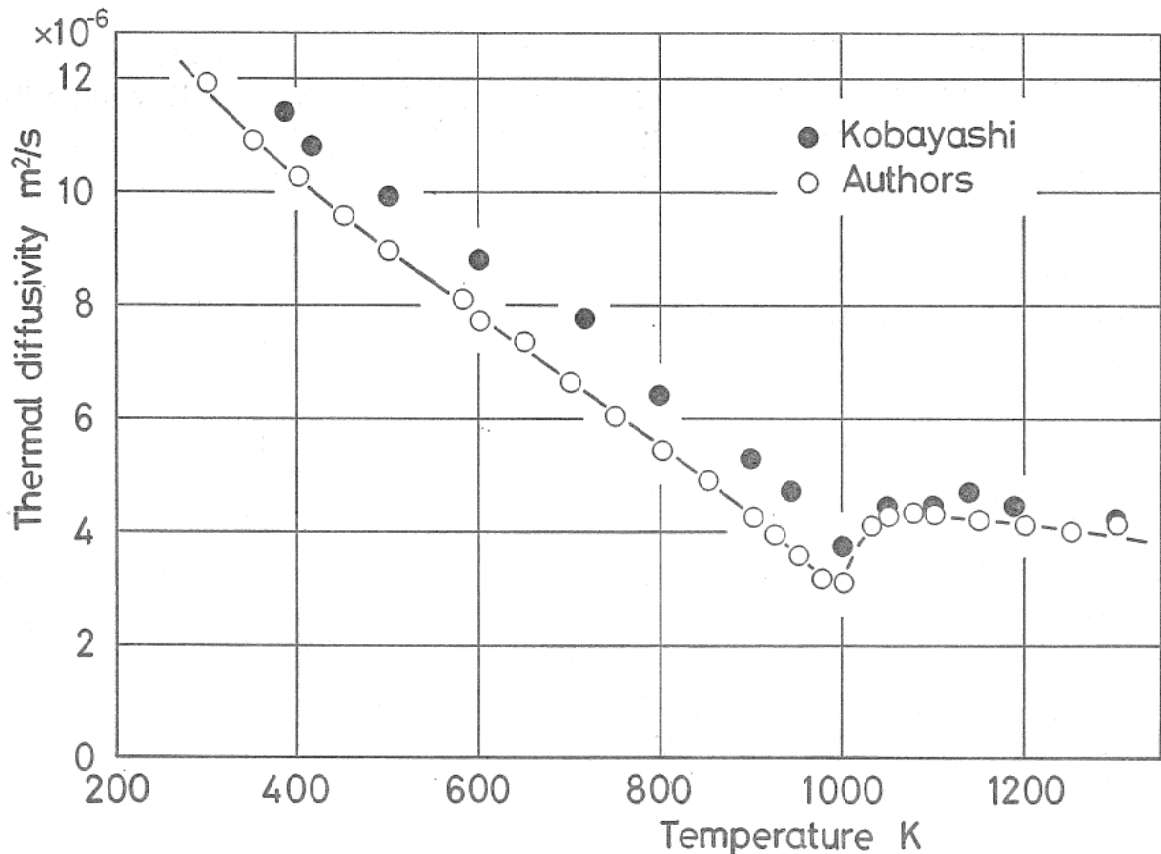


図1 S45Cの熱拡散率

要な点は次の四つであると筆者らは考えている。すなわち、(1)熱定数、(2)材料の熱吸収率、(3)変態温度、(4)冷却速度、である⁴⁾。以下にそれぞれのもつ意味を説明する。

(1) 熱定数

図1はレーザーフラッシュ法によって測定したS45Cの熱拡散率を示している。1,000K付近の変化に著しい特徴がみられる。このように、一般に熱定数は温度に依存するため、温度に無関係に一定として計算する場合には、どのような値を採用するかが重要である。たとえば図1において、室温付近の値を用いて計算すると、熱源近傍の温度は実際よりもかなり低く評価されることになり、硬化層領域をより小さく推定する結果になる。

(2) 材料の熱吸収率

炭酸ガスレーザーの発振波長は10.6 μ mであり、研磨した金属表面は低温域でかなり高い反射率を示す。したがって、レーザー光の吸収を高めるため、何らかの表面処理が行われる。しかし、熱吸収率が100%になることはあり得ないから、熱吸収率としてどの程度の値を用いるか

が重要である。当然のことながら、熱吸収率を低く与えると硬化層領域はより小さく推定されるし、高く与えると実際には溶融しないのに計算上は溶融すると推定される場合が生じる。

(3) 変態温度

亜共析鋼の A_c 変態温度は一般に加熱速度に依存する。したがって、オーステナイト状態に達した領域を推定するには、その近傍の加熱速度を考慮する必要がある。加熱速度を考慮しないで、たとえば状態図に示された A_1 変態温度を用いると、実際の変態温度より低いためオーステナイト域に達した領域をより広く推定することになる。

(4) 冷却速度

鋼材を焼入れ硬化させるのに必要な最小の冷却速度は臨界冷却速度と呼ばれている。したがって、オーステナイト状態に達した領域が材料自身の熱拡散によって自己冷却されるときに冷却速度が、臨界冷却速度を満足するかどうか検討することが必要である。もし臨界冷却速度を満足すれば、その領域はマルテンサイト変態によって硬化すると推定できる。

以上の四つの点は、レーザー硬化処理現象の中で相互に関係し合っており、決して別々に議論されるべきものではない。そこで、筆者らはこれらの事柄を総合的に考慮して検討したところ、レーザー硬化処理現象をより厳密に説明することができた。そして、その結果をもとに推定した硬化層領域の大きさが実験結果とよく一致することを確かめている⁴⁾。

4. おわりに

レーザー照射条件と硬化層領域の関係が明らかとなれば、レーザー照射条件を適当に制御することによって最適な硬化処理を行うことが可能である。筆者らの研究室では、大阪大学大型計算機センターのタイムシェアリング・システムの端末装置としてミニコンピュータを利用し、このミニコンピュータに数値制御装置を接続した群管理システムをすでに試作している。そして、

この試作システムの一つの応用例として、レーザー硬化処理の最適制御を目指した研究を行っている。対象物は平坦面や円筒面のみにとどまらず、自由曲面への適用も検討している。

文 献

- 1) 丸尾 大：レーザー熱加工，生産と技術，31巻，2号，16/22，昭．54．
- 2) 小林 昭：レーザー加工，開発社，昭．51．
- 3) 牧之内・難波・大村：ガウス型分布の移動熱源による有限平板の温度分布解析，日本機械学会講演論文集，No. 805-2，107/114，昭．55．
- 4) E. Ohmura, Y. Namba, S. Makinouchi and H. Tsuwa: A Method of Laser Hardening Using Step Functional Heat Input, (Int. U.S./Japan Conf. on Laser Material Processing, Anaheim, Nov. 1981 において発表予定)．

塩素法酸化チタン **タイパーク**®

硫酸法 **タイパーク** と同様安定した最高の品質が特長です。

耐候性を必要とする用途に	CR-80
一般工業用には	CR-50
印刷インキ用には	CR-58, CR-67
プラスチック着色用には	CR-60

石原産業株式会社

本社 大阪市西区江戸堀1丁目3番11号 〒550 電話 (06) 444-1451(代)
東京本社 東京都千代田区富士見2丁目10番30号 〒102 電話 (03) 230-8617~8622
名古屋支店 名古屋市中区錦1丁目17番13号 〒460 電話 (052) 231-8191(代)
福岡営業所 福岡市中央区天神1丁目12番14号 〒810 電話 (092) 751-0431(代)
四日市工場 三重県四日市市石原町1番地 〒510 電話 (0593) 45-2151(代)