

研究ノート

測温によるレーザー焼入品質管理手法の検討

津本宏樹*¹、古澤秀雄*²、斉藤昭雄*³、花井敦浩*¹

Examination of Quality Control Method in Laser Hardening

Hiroki TSUMOTO*¹, Hideo FURUZAWA*², Akio SAITO*³ and Atsuhiko HANAI*¹Industrial Research Center*^{1~3}

レーザー焼入れにおいて、焼入品質を予測することを目的に、レーザー照射時の試験片の表面温度を放射温度計により測定し、硬さとの相関を調べた。その結果、測定温度と焼入れ深さに相関があることを見出した。また、残留応力測定の結果、硬化部の圧縮応力のほか周辺部には引張応力が確認された。

1. はじめに

レーザーは出力や集光面積の調節が容易であり、短時間に局所的な加熱が可能なることから、近年、切断、溶接など、加工分野への適用に関する研究が盛んに行われている。熱処理の分野においても、熱歪みが少ない、複雑形状への適用が可能、工程がクリーンなどのメリットがある。

レーザー焼入れを行う際には、レーザー出力、走査速度などの条件を設定しているが、照射条件が自由に設定できるため、結果として被処理物に対して、どのような焼入れが行われたかの予測が困難である。

そこで、本研究ではレーザー焼入れにおける品質予測を目的に、レーザー照射時の試験片の表面温度を放射温度計により測定し、測定温度とレーザー照射条件、および硬さとの相関を調べた。また、レーザー焼入れにおける残留応力の分布についても調べた。

2. 実験方法

2.1 実験システム

実験システムの概要を図1に示す。レーザーは、最大出力 4000W のディスクレーザー (Trumpf 社) を使用した。このディスクレーザーは媒質に Yb:YAG ディスクが使われており、冷却機能があることから、熱レンズ効果を抑えた高品質なレーザーの連続使用が可能である。レーザー光は 15×1mm のライン状に成形されおり (焦点距離 320mm)、試験片 (50×50×20mm) には、表面を研削した機械構造用炭素鋼 (S45C) を用いた。また、レーザー照射面は試験片表面とし、焦点距離と同一とした。放射温度計は、レーザー照射軌跡上を撮影するように設定し、温度ピーク値を記録した。なお、酸化防止のためのシ-

ルドガスは今回使用せず、O₂ 雰囲気とした。

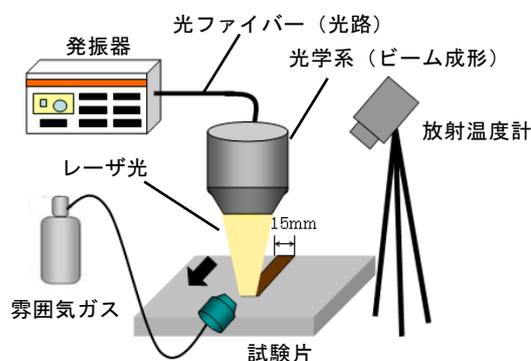


図1 実験システム

2.2 実験条件

レーザー出力と走査速度をパラメータとし、9種類のレーザー照射条件にて実験を行った。実験条件を表1に示す。この表において、出力が高く、走査速度が遅い、実験条件1が、レーザー照射により発生する熱量が最も高くなると考えられる。

	走査速度 (mm/min)								
	300	350	400	450	500	550	600	650	700
レーザー出力(W)	750	9							
	800	8							
	850	7							
	900								
	950								
1000	1				2	3	4	5	6

(表内の数字は実験条件番号を表す)

2.3 放射率の設定

測温に使用する放射温度計の放射率 ϵ の設定については、予備実験として、小型電気炉内にて加熱した試験片を放射温度計により測定し、炉の設定温度と一致する $\epsilon = 0.21$ とした。

*1 産業技術センター 金属材料室 *2 産業技術センター 金属材料室 (現産業労働部 産業振興課)

*3 産業技術センター 金属材料室 (現企画連携部 企画室)

3. 実験結果と考察

3.1 組織と測温結果

実験条件 2,3,6 におけるレーザー照射後の試験片の外観、断面組織、測温結果を図 2 に示す。断面組織からは、それぞれ表面部に硬化層（マルテンサイト層）が生成しており、レーザー焼入れが行われたことが確認できた。また、出力が一定の条件下では、レーザー走査速度が遅いほど、硬化層は深く、測定温度も高い値を示した。

条件	2	3	6
出力	1000W	←	←
速度	500mm/min	550mm/min	700mm/min
表面			
断面 (A-A)			
温度 (ε=0.21)	1089°C	775°C	521°C

図 2 試験片と測温結果

3.2 硬さと温度相関

実験条件 2,3,6 における断面硬さ分布を図 3 に示す。実験条件により、硬さ分布は異なるが、硬化層の最高硬さは、いずれの条件も S45C 材の最高硬さに相当する約 700HV であった。

一方、断面硬さの分布は、走査速度と相関があり、入熱量が大きくなる条件で、温度が高いものほど内部まで硬化していることが分かった。

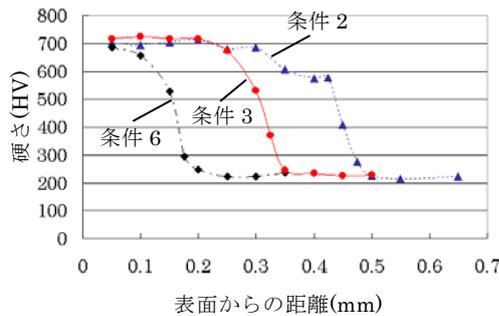


図 3 断面硬さ分布(条件 2,3,6)

次に、9 種類全ての実験条件について、有効硬化層深

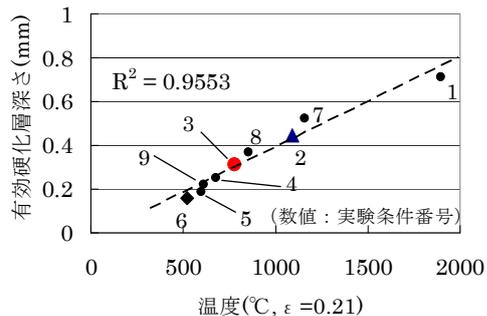


図 4 測定温度と有効硬化層深さの関係

さ（硬さが 450 HV となる表面からの距離）と、温度との関係を図 4 に示す。温度と有効硬化層深さの関係は、ほぼ直線の相関が得られた。このことは、放射温度計によるレーザー照射部の温度測定結果から、有効硬化層深さが予測できることを示唆している。

3.3 残留応力分布

実験条件 3 の試験片について、残留応力分布を調べた。その測定位置を図 5 に、測定結果を図 6 に示す。レーザー走査線上の A,B においては、表面近傍に圧縮応力がみられた（図 2 断面写真における硬化層にほぼ一致する）が、更に深い位置では、引張応力となっていた。また境界部 C では表面近傍から引張応力がみられた。未処理部 D の応力がほぼ 0 であったことから、これらの引張、圧縮応力はレーザー焼入れにより付与されたものであると考えられる。

このことから、レーザー焼入れによる硬化層には圧縮応力が付与されるものの、その周辺部には硬化層より広範囲に引張応力領域が存在するため、実際の製品に処理を行う際には、レーザー照射条件の設定に注意が必要である。

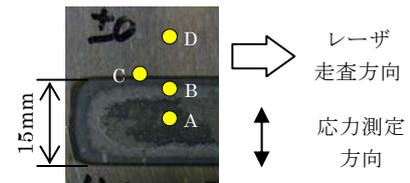


図 5 応力測定部位

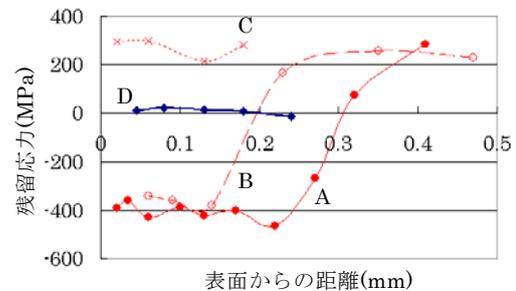


図 6 残留応力分布

4. 結び

今回、レーザー焼入れにおいて、温度という指標を導入することにより、レーザー照射部の測温結果と焼入品質との相関性を示唆することができた（測温結果の絶対値については、放射率の設定など、今後も検証を要する）。今後は、他条件、他材料などでも実験を行い、データの拡充に努めたい。

謝辞

本研究にあたり、レーザー焼入れ試験片の作製にご協力いただいた（株）齋藤工業に深く感謝いたします。