

# レーザ焼入れ温度に関する基礎的研究

## Fundamental Study on Temperature of Laser Hardening

○学 福本陽平 (金沢大院) 正 山田啓司 (金沢大学) 正 細川 晃 (金沢大学)

正 上田隆司 (金沢大学) 正 Mahfudz Al Huda (金沢大学)

Yohei Fukumoto, Keiji Yamada, Akira Hosokawa

Takashi Ueda, Mahfudz Al Huda (Kanazawa University)

### 1. 緒言

表面改質の目的は、基盤となる材料がもつ本来の特性を犠牲にすることなく、材料の表面のみをさらに高機能化することにある。

レーザ焼入れは、金属表面にレーザを照射し、その急速加熱と金属母材の熱伝導による急速な自己冷却作用とを利用して熱処理(変態による焼入れ)をしようとするものであり、最も一般的で採用しやすい表面改質法であるといえる。しかしながら本加工法では様々なパラメータが複雑に関与し合い加工量が決定することから、焼入れ過程の現象を逐次捉えることは難しく、その報告例も少ないのが現状である。その中でも温度の制御についてはとりわけ重要な因子であり、レーザ焼入れ時の加工物中の温度を知ることは高精度、高能率の加工を行うためには必要不可欠である。

そこで本研究では、CO<sub>2</sub>レーザを一般機械構造用炭素鋼(S50C)に照射した時の加工部温度を光カプラ型2色温度計により測定し、加工物内部の温度と金属組織、硬化深さの関係について調べる。

面を横切るように照射される。光ファイバは穴の端面から測定距離を一定とし加工物表面に対し垂直に挿入され固定される。また、レーザ変位計(株式会社キーエンス製、LK-080)を加工物の送り方向と垂直に照射しており、変位計のレーザに加工物端面が接触した時に生じる出力電圧をトリガとし、温度測定を開始する。

ここでレーザ焼入れ時における加工部の温度は、数百℃から千数百℃の範囲にあると考えられるため、温度計には高温域の温度測定に適したGe-InSb 2色温度計を、光ファイバは耐熱性に優れたコア径100 μmの石英ファイバを使用する。レーザ照射による加工物加熱部からの輻射赤外線は光ファイバで受光・伝送され、集光レンズ、チョップを介して各光電変換素子(Ge素子、InSb素子)に導かれる。これらの各素子からの出力比をとることにより温度に換算される。

Table.1に本実験における実験条件を示す。

Table.1 Experimental conditions

Laser	CO <sub>2</sub> (10.6 μm)
Workpiece	S50C
Laser Power	1300W
Feed Speed	5mm/s
Defocusing	90mm
Absorbent	Laser NonDross371

### 2. 実験装置および方法

Fig.1は、温度測定実験の実験装置の概略である。加工物は900℃で5時間焼鈍したS50Cを使用し、NCステージに固定した試料台に固定する。加工物は30×50×10の形状をしており、裏面から穴加工が施されている。NCステージを一定速度Vで送ることにより、レーザ光(CW:連続発振)が加工物表

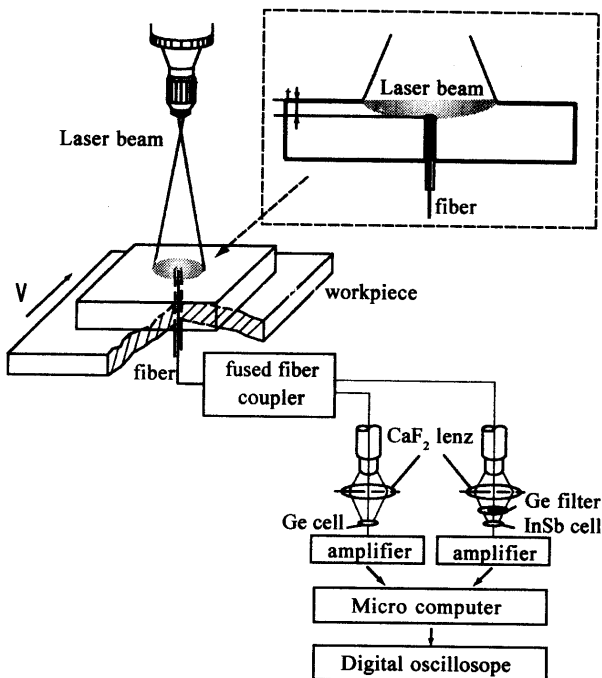


Fig.1 Schematic illustration of experiment

### 3. 実験結果

#### 3.1 加工物内部の温度測定

Fig.2に実験によって得られた2色温度計からの出力波計の一例を示す。図より、出力比b/aをもって温度に換算される。波形はパルス状になっており、本実験では3個の連続したパルスのピーク値を平均して測定結果とした。

Fig.3に加工物中の測定深さtと各深さにおける温度Tの関係を示す。今回の条件では、表面溶融に起因する表面形状の変化は見られず平坦な処理表面を得ることができた。図から表面からの深さが大きくなると、温度が減少していることがわかる。加工物に開けた小孔の影響も考慮しなければならないが、800℃を超える高温域がわずかに深さ1.0mm程度までと、表層部のみが非常に高温域まで上昇しており、レーザ熱源特有の表面加熱による加工であることがわかる。また、図から表面における温度を予測すると、本条件においては約1300℃にまで達していると考えられる。

Fig.4はFig.3で示した各深さtにおける温度履歴を示したものである。ここでは、表面が最高温度になる時間を $\tau=0$  sとしている。図より、tが表面に近づくほど温度勾配が大きく

なり急速な加熱, 冷却が生じていることがわかる. また加工物内部へ深くなるにつれ, 最高温度に達するまでの遅延時間が大きくなっており,  $t=1.13\text{ mm}$ においては表面から約  $0.2\text{ s}$  遅れて最高温度に到達している. また  $\tau=0.6\text{ s}$ には加工物中の各々の深さにおいて約  $600^\circ\text{C}$ まで低下している.

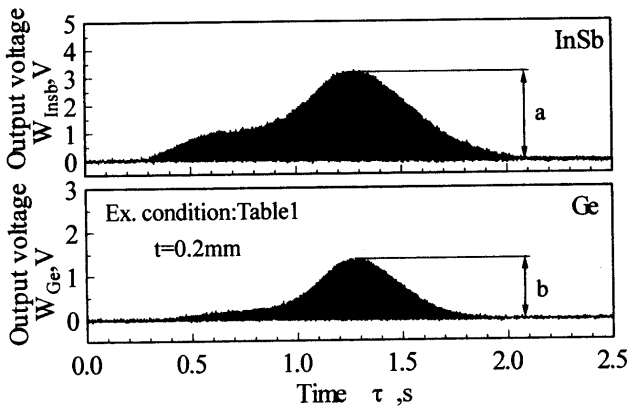


Fig.2 The typical output wave from pyrometer

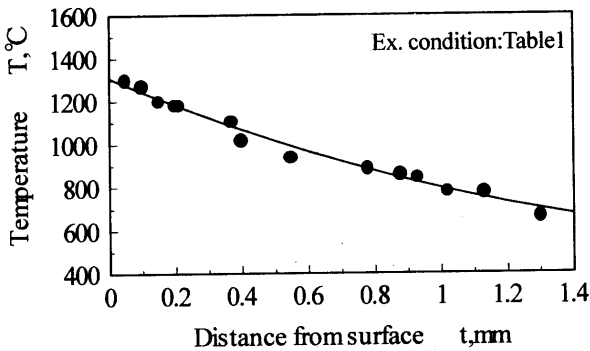


Fig.3 Relationship between distance from surface and maximum temperature

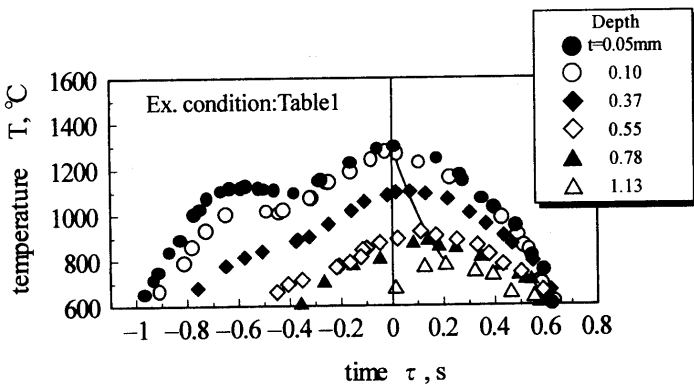


Fig.4 Temperature history of workpiece

### 3. 2 熱影響部の硬度及び結晶組織の観察

Fig.5は焼入れ後の加工物断面(条件:表1,  $t=0.05\text{mm}$ )における熱影響部の顕微鏡写真であり, Fig.6はこの断面において熱影響部が最も大きい部分の表面から深さ方向に  $50\ \mu\text{m}$ 間隔で硬さ (MHV, 1.96N)を測定したものである. 硬化層内は表面加熱のため, 熱履歴が深さごとに順次変化し, それに対応して組織や硬度も徐々に変化していることがわかる. このため, 連続した層間の区別は若干困難なものがあるが, 遠く離れた組織間には明瞭な相違が認められる為, それぞれ代表的な組織をもとにして以下の3つに区分した. マルテンサイトの針

状組織からなる領域(a), フェライトがほぼ不変のまま残っているのに対しパーライト地がマルテンサイトに変化している領域(b)と母材組織の領域(c)である.

Fig.6の結果から, 硬度は母材に至るまで漸次低下していき表面からの深さ  $0.8\text{mm}$ まではMHV600以上になっている. また Fig.3, Fig.6より, 温度と硬度の関係を比較すると, レーザ加熱での変態温度が約  $800^\circ\text{C}$ 程度であると思われる. これらのことから, 熱影響を受け弓形状を形成している硬化層内部は  $AC_1$ 変態温度以上に到達し, 焼入れが生じた領域であるといえる.

### 4. 結言

本研究では  $\text{CO}_2$ レーザによる炭素鋼焼入れにおいて, レーザ照射中の加工物の内部の温度測定を行い, 加工後の金属組織及び硬度を調べ次のような結果となった.

- (1) 2色温度計を使用することにより加工物内部の温度測定が可能となり, 表面温度を予測することができる.
- (2) 急速に加熱された加工物表面は約  $0.6$  秒後には  $600^\circ\text{C}$ 程度まで冷却されている.
- (3) レーザ焼入れ加工においては, S50Cの変態温度  $AC_1$ は  $800^\circ\text{C}$ 程度である.

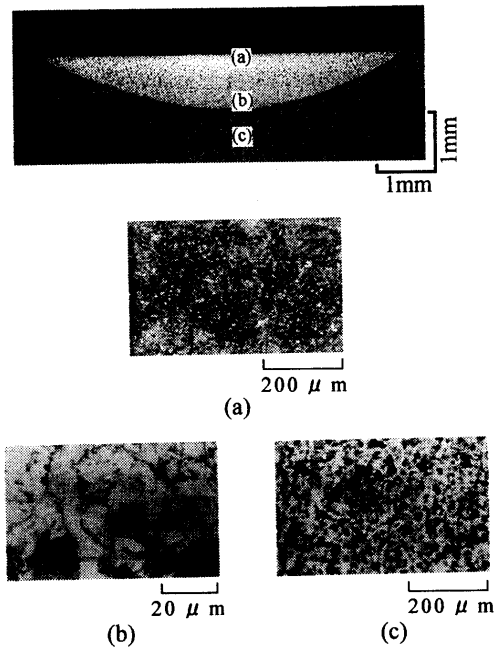


Fig.5 Cross-section of the laser hardened region

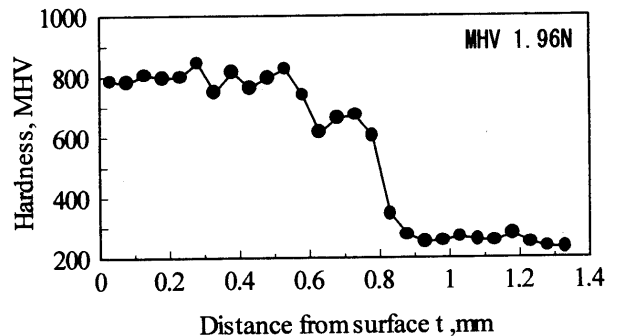


Fig.6 Relationship between distance from surface and hardness in hardening