YAG レーザを用いた機上熱処理に関する研究

Study on heat treatment system using YAG laser with a machining center

正 廣垣 俊樹 (滋賀県立大)

正 中川 平三郎 (滋賀県立大)

○小堀 由高 (滋賀県立大)

正 垣野 義昭 (京都大)

正 喜田 義宏 (大阪工業大)

Tosiki HIROGAKI, The University of Shiga Prefecture, 2500, Hassaka-cho, Hikone City, Shiga

Heisaburo NAKAGAWA, The University of Shiga Prefecture

Yoshitaka KOBORI, The University of Shiga Prefecture

Yosiaki KAKINO, Kyoto University

Yoshihiro KITA, Osaka Institute of Technology

This study deals with quenching and tempering using a YAG laser with a machining center. First, the occurrence of partial hardness decrease was confirmed after overlap laser quenching. Second, it could be seen that the oxide film on workpiece surface effected on the laser absorption in tempering. As a result, it is clear that laser tempering considering laser absorption variation also makes it possible to be constant hardness after overlap laser quenching.

Keywords: laser heat treatment, quenching, tempering YAG laser, machining center

1. 緒言

生産数量の少ない金型等の機械加工の分野では工作物をチャッキングした後は、できるだけ多くの加工工程を行う方がリードタイムの短縮につながり効率良い。そのため、工作機械であるマシニングセンタ上でレーザを熱源とした熱処理を行うことは非常に有益である。

レーザを用いた焼入れのように表面焼入れの場合、焼入れ組織が微細で硬さが高く、じん性に富んでいる。そのため、他の熱処理では必要な焼戻しが不要である⁽¹⁾。しかし、レーザ送り方向の焼入れ幅は、レーザスポット径程度となる。そこで、焼入れ硬化範囲を拡大するために、複数回に分けたレーザ照射で重ね焼入れを行う必要がある。しかしその場合、 n 回目のレーザ焼入れ時の余分な熱によって $(n-1)$ 回目の焼入れ層に焼戻しが起こり、硬さが低下する。そのため、表面の硬さにばらつきができる。そこで本報では、レーザ焼入れ後レーザ焼戻しを行うことにより、ばらつきを無くし硬さを均一にすることを試みる。

2. 実験方法

本実験では、図1に示す機上焼入れシステム⁽²⁾でレーザ焼入れを行う。図2に示す順(A→B→C)でレーザ焼入れを行った後、レーザの出力を低下させレーザ焼入れと同様にレーザを走査させ、レーザ焼戻しを行う。これらのレーザ熱処理後、レーザ走査方向に垂直な断面で熱処理条痕の幅方向(図2中 Y 方向、深さ $30\mu\text{m}$)の硬さ分布を調べた。対象とするワークは主に S45C である。

Fig.1 Heat treatment system

Fig.2 Cross section of workpiece

3. 実験結果および考察

3.1 レーザ焼入れ後レーザ焼戻し

図3にレーザ焼入れ面にレーザ焼戻しを行った時の硬さ測定結果を示す。図よりレーザ焼入れのままでは硬さがばらついていて(幅方向 -700mm , 0mm 付近で硬さの低下が見られる)が、レーザ焼戻しを行うことにより、硬さが全体的に低下してHV450程度の一定の硬さになることがわかる。一般に焼戻しは、ひずみ、割れを避けるために空冷(徐冷)するのが原則である。しかし、レーザ焼戻しの場合、表面熱処理なので加熱保持温度を調整すれば、焼入れ、焼戻しの両方が行えることが示された。

Fig.3 Relation between Vickers hardness and width
(Feed speed 700mm/min, Depth $30\mu\text{m}$, S45C)

3.2 炉焼入れ後レーザ焼戻し

図 4 に炉焼入れを行った後 473K で焼戻し、研削仕上げ ($R_y=3.2$) を施したワークにレーザ焼入れを行った時の硬さ測定結果を示す。ワークの硬さは HV500 程度である。

図より 90W でレーザ焼戻しを行うと硬さに変化はなく、焼戻しが起きていないことがわかる。そこで 110W でレーザ焼戻しを行うと、硬さが低下した部分と、硬さが上昇した部分が存在することがわかる。硬さの低下は、レーザ照射によって焼戻しが行われたからである。また、硬さの上昇は、図 2 の B, C のレーザ中心 ($Y=0, 0.7\text{mm}$) の硬さが上昇している事がわかる。よって、レーザスポットの中心が焼入れ温度まで達したため焼入れが起きたと考えられる。

Fig.4 Relation between Vickers hardness and width

(Quenching 1123K(15min) and tempering 473K(30min) in furnace)
Feed speed 700mm/min, depth 30 μm, S45C

3.3 酸化皮膜による YAG レーザの吸収率の違い

図 3 の結果と図 4 を比較すると、レーザ焼入れ後のレーザ焼戻しの場合は 80W で焼戻しが起きている。しかし、炉焼入れ、レーザ焼戻しの場合は、90W でも焼戻しが起きず、110W で初めて焼戻しが起きている。レーザ焼入れ後のワーク表面は、レーザ焼入れ鋼に酸化皮膜を生成した状態である。しかし、炉焼入れのワークは研削仕上げのため酸化皮膜がない。そこで、酸化皮膜が YAG レーザの吸収率に影響を与えていると考えた。酸化皮膜によって吸収率がどの位違うか調べた結果を図 5 に示す。

図より酸化皮膜が生成されていない場合(レーザ出力 100W 程度以下)は、YAG レーザの吸収率は約 25% である。ところが、酸化皮膜が生成されると YAG レーザの吸収率は約 35% になる。この結果より、YAG レーザ焼戻しを行う場合、酸化皮膜の有無によってレーザ出力を調整しなければならない事がわかる。

Fig.5 Relation between laser power and absorption

3.4 解析結果と実験結果の比較

図 5 で得られた吸収率を元に、移動熱源を用いて最高温度の解析を行った。解析結果を図 6 に示す。

図 6 中の吸収率 25% の結果と図 5 と比較すると、酸化皮膜が生成するのは約 673K であることがわかる。酸化皮膜が生成するのが 673K として、図 4 の結果を考察する。90W で焼戻しを行った場合、ワークの最高温度は約 573K にしか上昇しない。また、加熱保持時間が瞬間的なため、拡散反応である焼戻しは起こらなかったと考えられる。しかし、110W で焼戻しを行うと酸化皮膜が生成され、吸収率が上昇した。そのため、吸収率が 35% となり、加熱保持温度が 923K 程度になり部分的に焼入れが起る焼戻しが起きたと考えられる。

Fig.6 Relation between laser power and maximum temperature
(feed speed 700mm/min, spot diameter 1.4mm)

4. 結言

- 1) 加熱保持温度を調整することにより、YAG レーザを用いて焼戻しを行うことができる。
- 2) 酸化皮膜の生成温度は約 673K 程度であり、ワーク表面に酸化皮膜のある場合は、YAG レーザの吸収率は約 35% 程度である。また、酸化皮膜が無い場合は、YAG レーザ吸収率は約 25% 程度である。
- 3) 酸化皮膜の有無による影響を考慮してレーザ焼戻しを行うことで、重ね焼入れされたワーク表面も均一な硬さに調質することが可能である。

参考文献

- (1) 不二越熱処理研究グループ：知りたい熱処理，
ジャパンマシニスト社，(1970) 233
- (2) 廣垣俊樹，中川平三郎，速水雅人，喜田義宏，垣野義昭
山路伊和夫：精密工学会誌，Vol.67,5,(2001),808