# 応用が拡大するレーザ焼入れ技術

キース・パーカー

**高出力ダイレクト半導体レーザは$CO_2$レーザ以上の利点がある。**

レーザは30年以上も熱処理の用途に使われているが、実用性やコストに関連する制約のために、その応用はニッチな用途に限られてきた。現在、高出力ダイレクト半導体レーザは、従来技術の欠点を克服できる解決策となり、その用途が大幅に広がると期待されている。

**図1**　シャフトのキー溝の表面焼入れ。

## 従来の熱処理法

熱処理法もしくは表面焼入れは、数多くの産業において、切断工具や軸受表面のような鋼鉄部品の耐摩擦性の改善や使用寿命の延長に応用されている。熱処理には部品の加熱と急冷（焼入れ）が含まれる。熱処理された鋼鉄の結晶構造には炭素が導入され、結晶格子は室温の標準状態よりも硬い状態に変換される。産業分野の表面焼入れは薄い表層だけの硬化が目標になる。母体材料は元の状態、つまり表層よりも柔軟で壊れやすく、延性の大きい状態に保たれる。表面焼入れは部品の幾何学形状の形成後に行なわれるため、理想的な加工の場合は、部品形状に物理的変形が生じることはない（編集注記： www.industrial-lasers.com の特集記事「Laser Heat Treatment Simplified」を参照）。

一般に、各種の伝統的な（レーザではない）技術は、拡散硬化法と部分焼入れ法の二つに大別される。浸炭、窒化、炭窒化などの拡散技術は、低炭素鋼の母体を加熱し、外部から供給する炭素やその他の元素と接触させる。これらの元素は表面層内に拡散する。次に液体を使って部品の急速焼入れを行う。

一般的な部分焼入れ法では、もともと十分な炭素を含有する鋼鉄を使用し、炭素を鉄結晶格子に導入して所望の硬度を実現する。この場合、所望の領域の温度を上げるために火炎または電気誘導を用いて部品の表面を局所的に加熱し、その後に焼入れを行なう。

## レーザ技術

レーザ熱処理はもう一つの部分焼入れ技術になる。そこでは空間的に成形されたレーザ光が部品の表面近傍で吸収され、急速な焼入れが起きる。この加熱は照射領域に限定され、母体材料への侵入は限られる。母体材料は熱を表面から放熱するヒートシンクとしても作用するため、自己焼入れが可能になる。

照射領域を精密に決定できるレーザビームの能力と母体材料への短い時間スケールでのエネルギー移動との組合せは、レーザ熱処理に対して大きな利点をもたらす。とくに、その利点には高速加工、表面焼入れの深さと位置の精密制御および最小の部品変形が含まれる。

レーザ焼入れは従来技術のいくつかの欠点を排除できる。例えば、炎焼入れは再現性と焼入れ特性が悪く、環境問題の制約を受ける。その結果、炎焼入れは中～大型サイズの部品に最も適している。高周波焼入れは一般的に深い熱浸透をもたらすため、能動水冷方式の焼入れが必要になり、両者はいず

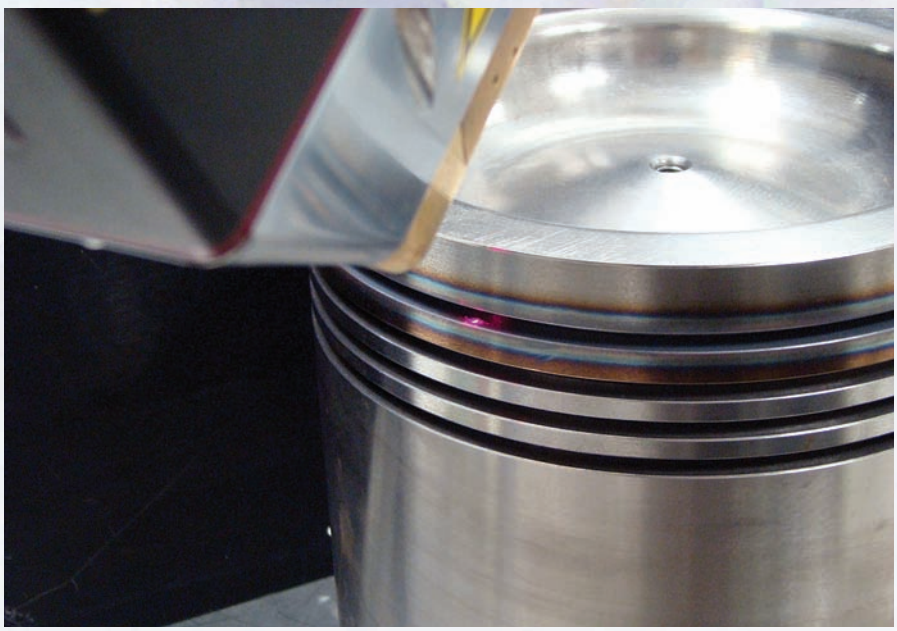

**図2**　ピストンリング溝の上面と下面が選択的に熱処理され、耐摩耗性が増強されている。

れも、好ましくない制御不能の変形を引き起こす。レーザ熱処理加工はビームの照射領域と機械的にアクセスできない領域だけを加熱するため、高周波焼入れに比べると、その設計と保守は著しく容易になる。このことはレーザ焼入れがさまざまな形状とサイズの部品に対して、それぞれの部品の形状に合せた誘導コイルを特注で設計しなくても、容易に適用できることを意味している。

このような利点をもつにもかかわらず、何故レーザは熱処理の市場により深く浸透しなかったのだろうか？レーザ焼入れのほとんどは$CO_2$レーザを用いて行われてきた。$CO_2$レーザは切断、溶接、穴あけなどの著しい高強度と極端な局在エネルギーを必要とする用途の場合は応用範囲の広い優れた手段だが、熱処理の要件を十分に満たすことができない場合が多い。その一つは10.6μmの出力波長が問題になる。実質的に鋼鉄などの金属は、10.6μmの光を十分に吸収しないため、$CO_2$レーザで熱処理する表面は吸収性被覆による事前「塗装」が必要になる。また、赤外線の$CO_2$レーザ出力は光ファイバによる伝送が難しく、加工場所への接近も限定される。

## ダイレクト半導体レーザ

最近の数年間、高出力ダイレクト方式の半導体レーザは、出力パワーと信頼性が継続的に改善され、価格も低下し、レーザ焼入れの用途に利用できる魅力的なレーザになった。その大きな利点は近赤外出力（一般に808nmまたは975nm）にあり、鋼鉄による吸収は10.6μmよりも大きいため、事前の吸収性被覆は不要になり、関連するコストと環境順守の問題を回避できる。

ダイレクト半導体レーザはビームの形状とサイズも利点になる。レーザ焼入れの大部分の応用はレーザビームの照射領域が全体の加工面積よりも小さい。したがって、全体を加工するには加工部品またはレーザビームの移動が必要になる。半導体レーザは自然に拡がるビーム形状をもつため、ビームのサイズと強度分布を多数の焼入れ作業に対して十分に整合できる。また、レーザビームを特定作業の幾何学形状に合せて再成形することも容易にできる。さらに、ダイレクト半導体レーザの近赤外出力は光ファイバによる伝送が容易なため、加工の柔軟性が著しく増強される。

半導体レーザの電気効率（入力する電気エネルギーから利用できる光出力への変換効率）は、$CO_2$レーザに比べると、3～4倍も高い。このことは運用コストの低下を意味している。半導体レーザは瞬時にオンが可能なため、待機電力を必要としない。半導体レーザの場合の維持費は、$CO_2$レーザに比べると数桁も大きな削減になる。物理的に小さな半導体レーザは、大型の$CO_2$レーザに比べると、その交換が迅速かつ容易であり、翌日配達便を利用すれば一夜のうちに交換できるため、保守のための休止時間も最小になる。

**図3**　ダイレクト半導体レーザは小型で使いやすく、大面積の部品や接近の難しい場所を加工できる。ここでは大型車両のホイールスピンドル表面にあるベアリング接触部分の熱処理をしている。

また、半導体レーザは組込みも簡単である。半導体レーザはサイズが小さいため、CNC工作機械に組込むと、機械加工後の焼入れ加工を同じ複合機械を使用して直ちに実行できる。

## 応用

米チタノバ社（Titanova）は半導体レーザに基づく切断以外の加工サービスに特化し、とくに熱処理、クラッディング、再生産および伝導モード溶接を行っている。チタノバ社の設立者兼社長のジョン・ハーケ氏（John Haake）は「ダイレクト方式の半導体レーザによる熱処理は有用だが、とくに歯車の上面のように表面焼入れが部品の特定の場所に限られる場合や細いシリンダの底面のように接近の難しい場所の加工に適している。従来の熱処理法では機械的変形の悪影響が起きてしまう高精密部品の場合に、コスト効果の高い加工を行うことができる」と語っている。

後者はさまざまな機械に使われるドライブシャフトが典型的な例になる。多くの場合、これらのシャフト表面にあるベアリングの回転場所は耐摩耗性の改善が必要になるが、部品の形状は厳密に維持しなければならない。さもなければ、回転時のシャフトはバランスを保てない。チタノバ社は半導体レーザ焼入れを利用して、タイヤバランスの試験機メーカーが使用するドライブシャフトの選択熱処理に成功した。従来は高周波焼入れを用いて加工されてきたが、この方法はシャフト形状を回復するために、表面焼入れ後の研磨と曲がりの修正が必要であった。

チタノバ社は建設機械メーカー用のエンジンピストンリング溝の熱処理も行っている。従来、この熱処理は$CO_2$レーザを使用してきたが、この場合は部品の黒色被覆をいったん焼き払い、レーザビームが反射するようにして、部品の劣化した場所だけを熱処理することが必要であった。近赤外半導体レーザは光ビームが材料により容易に吸収されるため、このような問題は起こらない。

チタノバ社はかなり低価格の部品を小～中程度の量（年5万個以下）で熱処理する数社の顧客を持っている。このような加工は各種の工具とエンジン部品が例になる。いくつかの場合、これらの部品の従来法による熱処理は、コスト効果ばかりでなく、準備（塗装）や後処理に人手が要ることも問題であった。ハーケ氏は「高出力ダイレクト半導体レーザはこれら熱処理の例が示すように利用可能な市場が拡大しており、そのコスト効果に優れた技術はまったく新しい応用を生み出している」と語っている。

**著者紹介**
キース・パーカー（Keith Parker）は米コヒレント社（Coherent）のダイレクト半導体レーザシステム事業開発マネージャ。
e-mail: keith.parker@coherent.com

ILSJ