

焼結部品の精度と強度の両立を可能にする レーザー焼入れ技術

Application of Laser Hardening Technology to Sintered Parts

佐藤 誠*
Makoto Satou

足立 有起
Yuuki Adachi

本山 裕彬
Hiroaki Motoyama

耐摩耗性や疲労強度向上が局所的に必要な部品を焼入れする場合、一般的に高周波焼入れが用いられてきた。しかし、部品形状によっては、大きな焼入れ歪の発生や余分な部位に焼きが入ることが避けられなかった。これを解消するための焼入れ技術として、レーザー焼入れ技術があり、近年レーザー発振器の低価格化が進み、この技術の工業化が可能になってきた。そこで、われわれはレーザー焼入れの焼結材部品への適用可能性を検証した。

In recent years, industrial application of laser hardening has been made possible due to technological advancements, resulting in lower equipment costs of laser oscillation machines. Laser hardening utilizes surface hardening technology through laser irradiation and generates less heat than induction hardening. Another advantage of laser hardening is its ability to harden local areas that are not accessible by induction hardening. The use of this technology on sintered parts will lead to new applications due to its inherent advantage in near net shape manufacturing. Laser hardening was performed on various types of sintered materials, and the parts were evaluated for process optimization. Laser hardening was also performed on products in various shapes that are difficult to harden with other surface hardening techniques. The application of this technology for a wide range of products was also investigated.

キーワード：焼結材、レーザー焼入れ

1. 緒 言

レーザー焼入れとは、加熱源にレーザー光を用いて焼入れする技術である⁽¹⁾。従来、レーザー光は加工や溶接には広く用いられてきた。近年、レーザー発振器のコストの低下により、レーザーによる焼入れの工業化が可能になってきた。当社でも、2014年の3月からレーザー焼入れ設備を導入し、焼結材部品への適用可能範囲の検証に取り組んだので、その結果を報告する。

2. レーザー焼入れの原理

レーザー焼入れ設備の基本構成は、レーザー発振器、光ファイバーおよび光学レンズである(図1)。ビーム形状は強度分布が均一なトップハット型である。レーザー焼入れにおける加熱・冷却過程を図2に示す。加熱過程において、レーザーを照射された部分は0.1秒オーダーの短時間でオーステナイト化温度^{*1}まで加熱される。照射が完了すると、部品内部への熱伝導で急速に温度が下がり、この自己冷却により焼きが入る⁽²⁾。レーザー光を照射された部分のみが発熱するため、加熱部周辺への熱影響を極めて小さくすることができる。

焼入れ必要部位がスポット光サイズ以内であれば、定置1点の照射で焼入れする。焼入れ必要部位が広い場合は、スポット光を移動させながら焼入れし、所定の焼入れ範囲を得る(図3)。ビームのスポットサイズは、光学レンズを取り換えることで、一辺数mm~十数mmまで変更可能である。

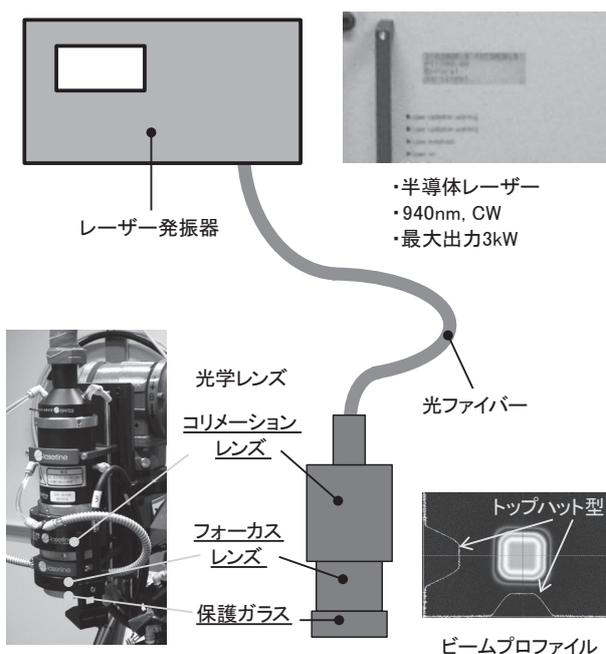


図1 レーザー焼入れ設備の基本構成

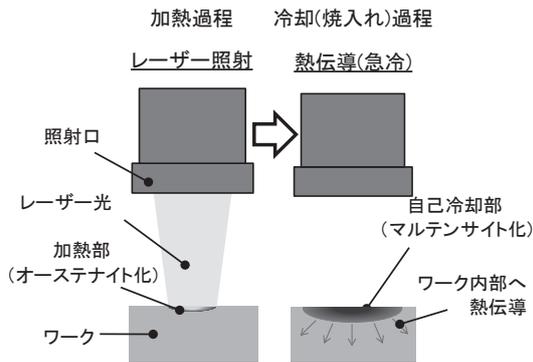


図2 レーザー焼入れの過熱・冷却過程

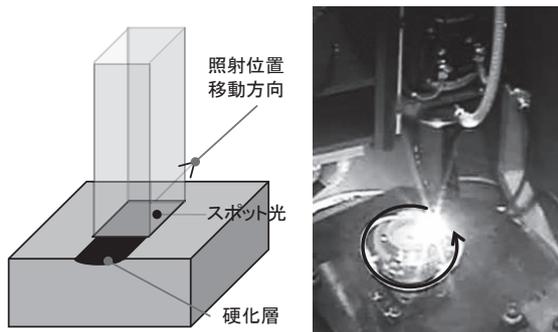


図3 レーザー光の照射

3. 適用結果

3-1 各種焼結材料への適用

(1) Fe-2Cu-0.8C

焼結材の組成として一般的なFe-2Cu-0.8C材にレーザー焼入れを行い、その材質を評価した。評価はスポット焼入れを行ったサンプルの断面で行った(図4)。組織観察及びビッカース硬度^{*2}の分布を測定した結果を図5に示す。焼入れ部は均一なマルテンサイト組織^{*3}で、焼入れ性を向上させる合金元素を含まない本組成でも、焼入れに必要な急冷が自己冷却で十分であることを確認できた。また、硬度分布も良好な焼入れ品質を示した。

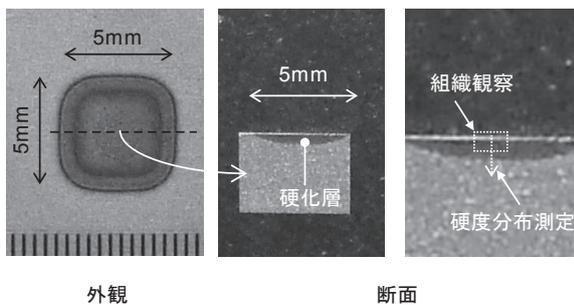


図4 スポット焼入れ

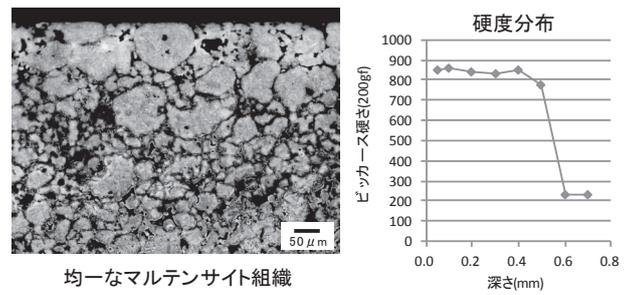


図5 Fe-2Cu-0.8C材レーザー焼入れ部

(2) Fe-2Cu-0.5C

焼結材は鋼材と比較してマイクロ組織が不均一になりやすく、特に0.7C以下の組成の場合、粗大なフェライト粒が点在する場合がある。短時間加熱であるレーザー焼入れでは、これらが残留フェライトとして残る懸念があった。そこで、Fe-2Cu-0.5C材へのレーザー焼入れを行い、材質を評価した。その結果、均一な表層マルテンサイト組織を得ることができ、硬度分布も良好な結果を得た(図6)。

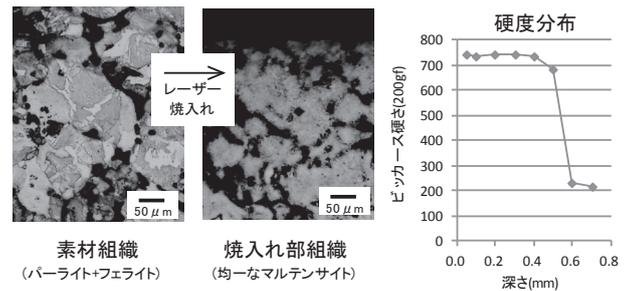


図6 Fe-2Cu-0.5C材レーザー焼入れ部

(3) Fe-4Ni-0.5Mo-1.5Cu-0.5C

素材に複数の組織相が混在する合金系材料のFe-4Ni-0.5Mo-1.5Cu-0.5C材におけるレーザー焼入れの材質評価を行った。この結果においても、他の焼入れ方法で得られるものと同様の焼入れ組織および良好な硬度分布を得た(図7)。

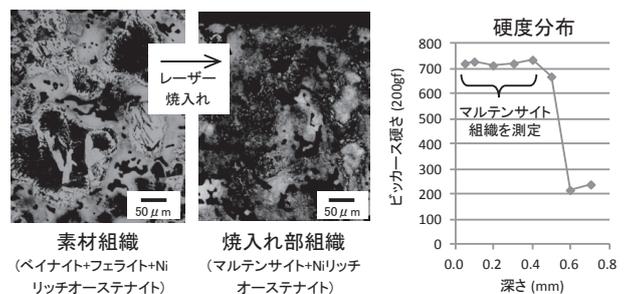


図7 Fe-4Ni-0.5Mo-1.5Cu-0.5C材レーザー焼入れ部

以上の材質評価結果より、レーザー焼入れが焼結材への焼入れ方法として適用できることを確認した。

3-2 各種形状への適用

レーザー焼入れの、各種形状製品への適用可能性を検証した。基本的に、レーザー焼入れはスポット光が届く部位であれば焼入れが可能である。

(1) 局所焼入れ

局所部に焼入れした例を図8に示す。このようなスポット部の焼入れを行う場合、高周波焼入れでは焼入れ不要部分への加熱を避けることができなかつた。一方レーザー焼入れでは、必要箇所のみピンポイントに加熱・焼入れができる。

(2) 円周状焼入れ

円周状に焼入れを行った例を図9に示す。このような形状の焼入れを行う場合、円周形状の1点にスポット光を当てながらワークを回転させて焼入れを行う。フラット面の焼入れ

は、従来の高周波焼入れと同様に行うことができる。また、複雑な曲面は高周波焼入れでは均一な硬化層を得ることが難しかったが、レーザー焼入れでは容易である。

以上の結果から、レーザー焼入れは部分的に焼入れする必要がある各種形状の製品に適用できることを確認した。

3-3 レーザー焼入れの利点

(1) 品質上の利点

レーザー焼入れを適用することの利点を検証した。レーザー焼入れは、高周波焼入れと比較しても少ない加熱で焼入れできるため(図10)、焼入れ歪の低減や、焼割れの防止に効果的である。レーザー焼入れを行った製品と、高周波焼入れを行った製品の熱処理変形量の比較を図11に示す。同じ焼入れ深さを得る焼入れでも、レーザー適用品は高周波のものより変形量を小さくできる。

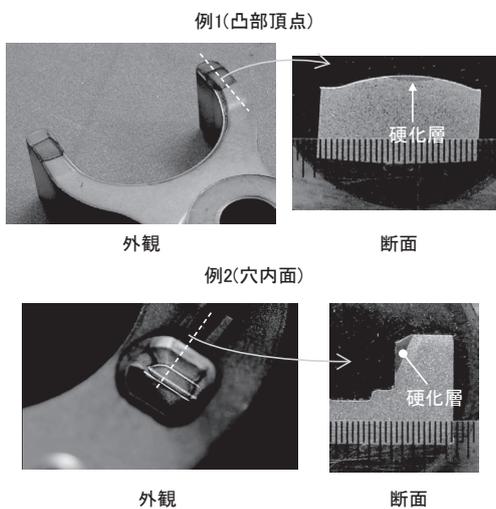


図8 局所部焼入れ例

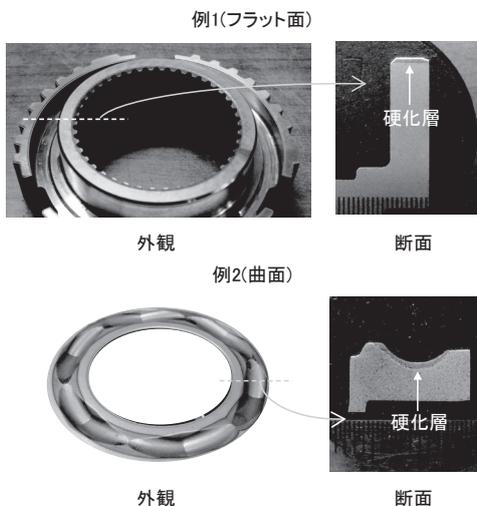


図9 円周部焼入れ例

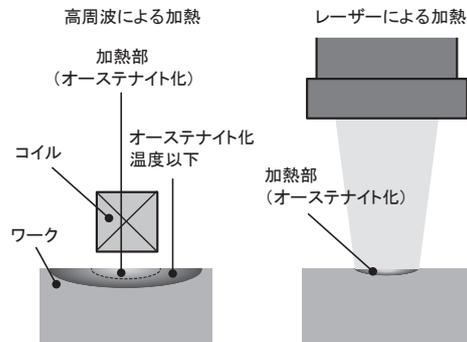


図10 加熱範囲の比較

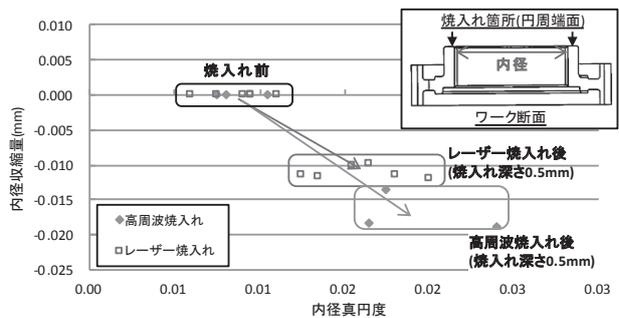


図11 熱処理変形量の比較

また、レーザー焼入れは、焼入れが必要な部分と焼入れが許容されない部分が隣接した製品の場合にも有効である。図12のような、後加工(タップ穴加工等)がある付近を焼入れすることも、レーザー焼入れであれば容易である。従来の高周波焼入れでは、このような選択的な部分焼入れは困難であった。

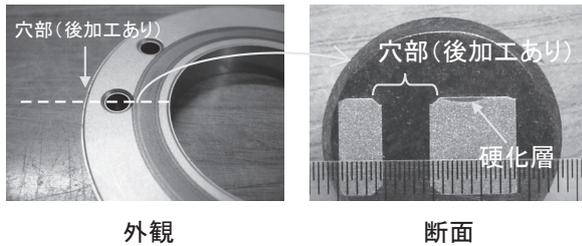


図12 後加工のある部位付近の焼入れ

レーザー焼入れは、これまで焼入れ後の寸法精度確保が難しかった製品や、焼入れ適用が困難だった製品にも利用できる有効な手段である。

(2) 工程上の利点

その他、レーザー焼入れ工程を導入した場合の利点を評価した。

(a) 極めて小さな入熱での焼入れ

- ①焼入れひずみが小さいため、焼もどしや後加工を省略できる可能性がある。
- ②焼入れの後のワークの残熱が小さく、搬送設備等への熱によるダメージの心配が少ない。

(b) 自己冷却のため水や油の焼入れ剤が不要

- ①ワークの汚れがない。
- ②作業環境が清浄である。
- ③後工程の設備を汚す心配がない。
- ④焼入れ剤の冷却能や濃度管理が不要である。
- ⑤冷却条件の管理が不要である。

(c) その他

- ①保護ガラスを定期的に洗浄する程度で照射状態を維持でき、メンテナンスしやすい。
- ②発振器から焼入れ部まで光ファイバーでつなげるため、設備のレイアウトがしやすい。
- ③光学レンズの交換でスポットサイズを選択でき、加熱箇所を選ぶ自由度も高いため、試作リードタイムが短い。

4. 結 言

今回の検証でレーザー焼入れを焼結材部品にも広く適用できることを確認した。低歪・局所的に焼入れできるレーザー焼入れは、焼結材のニアネットシェイプ成形^{*4}の利点を更に生かすことが可能である。今後のレーザー焼入れ技術の焼結材部品への適用拡大が期待される。

用語集

※1 オーステナイト化温度

鉄-炭素系材料の焼入れに必要な加熱温度。

※2 ビッカース硬度

金属材料を評価する際に最も一般的に用いられる硬さの定義。

※3 マルテンサイト組織

焼入れした部分に現れる鉄の微視組織。

※4 ニアネットシェイプ成形

原材料を直接最終製品に近い形状品にすること。

参 考 文 献

- (1) 丸尾大、宮本勇、石出孝、荒田吉明、「レーザー焼入れの研究」、溶接学会誌、第50巻、第2号、pp.82-88 (1981)
- (2) 萩野秀樹、山口拓人、「レーザー焼入れおよびレーザー合金化」、スマートプロセス学会誌、第1巻、第6号、pp.262-267 (November 2012)

執 筆 者

佐藤 誠* : 住友電工焼結合金(株) 主任技師



足立 有起 : 住友電工焼結合金(株) 主席技師



本山 裕彬 : 住友電工焼結合金(株)



*主執筆者