

レーザーによる宝石の微細加工

中山 信一・依田 辰巳*

Study on YAG Laser Machining of the Gems

Shin-ichi NAKAYAMA and Tatsumi YODA

要 約

LD励起YAGレーザー装置を用いて、ラウンドブリリアントカットやバケットカットされた宝石のガードル部またはその周囲に微細な溝を加工する方法および、その溝を利用した全く新しい石留め法について検討した。この方法は、従来の欠点を解消し、新しいデザインの貴金属製品に展開しようとするものである。宝石への溝加工においては、レーザーの照射条件のほか、宝石の保持方法、保持材および冷却方法等の選定が重要となる。なお、この場合レーザーの適正平均出力として8~12W、Qsw発振周波数としては1~6 KHzである。この結果、10分以内で0.2~3.0Ctのキュービックジルコニアおよびダイヤモンド等の溝加工が出来ることを確認した。

今後、これまで行ってきた研究成果をもとに、レーザーによりV或いはU溝を形成した宝石を利用して、従来に無い、全く新しいデザインの装飾品を開発することを目標としている。

1. 緒 言

本県を代表する地場産業製品のうち貴金属装身具は、比較的小物が多く、しかも複雑な形状で構成されていることから、熟練者による多品種少量生産が行われている。機械設備は旧態依然としたものが多いが、これらの設備を工夫し作業工程の合理化に役立っている。

一方、関連の先進企業においては、海外との競争激化と熟練技術者不足から、新規設備や高度技術の導入が急速に進みつつある。新製品を開発するうえで、従来と同様な発想では競争に勝ち残れないとの危機意識を持ち、常に消費者ニーズをつかむことに努めている。しかし、貴金属装身具製品は、金・銀・プラチナ等に素材が限られているため、自ずとデザインにも行き詰まり感が否めない。このため、製品に何らかの特徴を持たせたデザイン展開、新技術及び新素材を採り入れた商品展開を図らなければ企業として生き残ることが困難となる。さらに、多くの貴金属装身具は、宝石と貴金属とを組み合わせ、デザイン性と付加価値を生み出している。これらの貴金属装身具の製作において、宝石を貴金属金具にセットする場合、立爪を代表とする種々の石留め方法が採られている。しかし、従来の石留め法は、宝石のクラウン部やテーブル面にまで金属爪が覆い、本来宝石の持っているプロポーション、色及び見た目を低下させるとともに、金属爪の部分で皮膚や衣装に傷をつけ易い難点があった。

これまで、貴金属金具の工夫により新しい石留め法に対処してきたが、これらの方法では新しい宝飾品の開発に限りが現れてきた。このため、5~6年ほど前から宝石の一部を加工したミステリーセッティング法が現れたが、宝石の重要な部分を加工しなければならない欠点があった。

本研究では被加工物として、ラウンドブリリアントカットされたダイヤモンド、キュービックジルコニア、トルマリン、水晶、ペリドット、ガーネット、インベリアル・トパーズ等を用い、従来の爪留めから、新たに爪が見えないセッティング法を開発し、貴金属製品に応用しようとするものである。

表1は、従来から用いられている石留めの種類を示す。

一般的に爪留めの種類は、爪の形状で呼ばれており、爪の本数は4本爪と6本爪に分かれる。また、4本の爪で留めてある形が、上下左右で留めてある場合を天地爪と言われているが、高価な宝石がはずれて落ちないように6本爪を基本にする考え方もある。

2. 実験装置および実験方法

2-1 LD励起YAGレーザー加工装置の概要

図2は、実験に用いた加工用LD励起YAGレーザー装置で、出力20W（連続発振時）の半導体励起YAGレーザー光を光ファイバーで伝送し、ファイバーの先端に取り付けた集光光学系でビームを絞る、ワークに照射して加工するシステムである。

*タツミサイエンス

表1 従来の石留めの種類

爪留めの種類	爪の種類 (爪の形)
	おに爪
	わし爪
	平爪
	けん爪
	おがみ爪
	丸爪
	割爪
ふせこみ	チョコ留め

・LD励起YAGレーザー装置の構成

Model LDP-20MQ (LEE LASER 社製)

発振波長 : 1064nm

発振横モード : マルチモード

発振出力 : 20W

ビーム径 : 約2.5mm

ビーム開き角 : 約4mrad

偏光 : ランダム偏光

Qスイッチ使用時

発振出力 (10KHz) : 14W

パルス幅 (10KHz) : 250ns

ピーク出力 : 6KW

光ファイバー : ϕ 0.6 SI型 SUS管付き 5m

ガイド光 : He-Neレーザー2mw 直線偏光

消費電力 : 220VAC \pm 10% 10A

加工方法として、LD励起YAGレーザー装置から分岐した光ファイバーを利用して、Z、 θ テーブルにファイバー集光光学系、X・Yテーブル上に高速回転する宝石取付具を設置して、加工実験を行った。図1にレーザーによる溝加工及び溝加工用治具を示す。

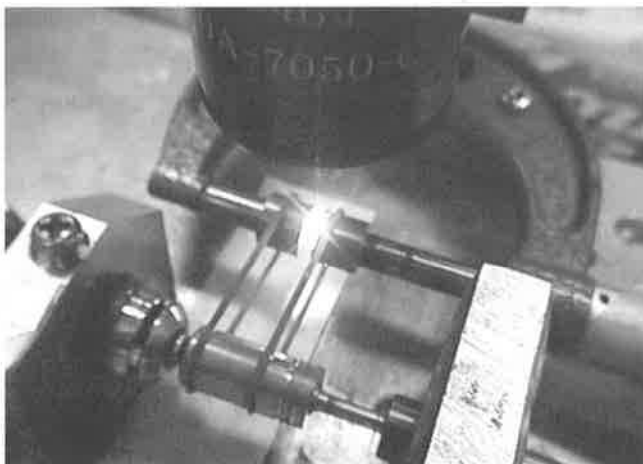


図1 レーザによる溝加工及び溝加工用治具

2-2 レーザ制御と溝加工条件

LD励起YAGレーザー装置は、高度な制御により精密な加工が行えるが、加工条件により貴重な宝石を破壊する危険性を伴うため、照射角度、照射エネルギー量、発振周波数、回転速度等を調節し、適正な加工条件を把握する必要がある。宝石の加工時に投入するレーザーエネルギーの大小のほか、各種加工条件が、加工品質や加工性能に大きく影響する。特に、溝加工では微小スポットで、出来る限り集光エネルギーが少ないほど加工品質は良好となるが、加工時間は極端に長くなる。また、宝石の微細加工においては、加工する溝それぞれの幅と深さが異なるため、幅と深さの関係を解明する必要がある。

特に、より早く安定して加工する条件の確立と高精度の加工を行うためのレーザー加工条件の検討及び加工用ジグの開発などを行った。なお、YAGレーザー光を用いた宝石の溝加工実験は、次の要因及び因子で行った。

・被加工素材

ダイヤモンド、キュービックジルコニア、トルマリン、水晶、ペリドット、ガーネット、インペリアル・トパーズ

・出力電流

19~25 A

・Qsw発振周波数

1~30KHz,

・試料回転数

100~30000rpm,

・照射角度

 \pm 30度

3. 実験結果及び考察

3-1 試料の冷却法と照射エネルギー

照射エネルギー量の増加に伴い、加工時間は短縮するが、加工面は荒れ、宝石内に熱が隠った場合は破壊したり白化する恐れがある。このような事を防ぎ、なおかつ効率よく加工するためには、詳細な加工条件を把握する必要がある。特に、今回は、被加工物の回転中心付近まで冷却水に漬け、しかもレーザー光の吸収を増すために、冷却水に墨汁を使用して実験を行った。しかし、この方法では冷却効果が高すぎるため加工時間が極端に長く、墨汁によるレーザー光の吸収効果も殆ど認められなかった。

このほかに、アルゴンガスを試料の照射ポイントまで導き、冷却と大気とのシールド効果を兼ねて溝加工を行った。この結果、ガス量が多いと冷却効果は高いが、加工効率は低下するとともにレーザー光のゆらぎの影響で照射位置が不安定となる。また、ダイヤモンドの加工において、炭化に

よる黒化防止効果に変化は見られなかった。このため、試料を高速回転することによる冷却効果を利用して加工実験を行った。

3-2 宝石の溝加工方法

従来、高硬度宝石の加工は、ブレードにダイヤモンド粉末を塗布して加工を行っているが、YAGレーザー加工では、一般的な宝飾品においては困難な微細加工やダイヤモンドのように結晶方向による硬度の異なる部分の加工が可能である等、大きなメリットがある。これまで、試料としての宝石は、主として0.2~3.0Clのキュービックジルコニアおよびダイヤモンド等を用い、出来る限り短時間で高精度に溝加工が出来ることを目標とした。これ等の宝石を用いて、レーザーによる適正な加工条件、宝石の保持方法、および回転数について検討を進めた。

レーザー光及びヘリウムネオンのガイド光は、固定集光光学系から、ファイバーオプティックカプラ、光ファイバ光学系、射出レンズユニット（焦点距離60mm）へと導き、ガイド光を頼りに宝石の溝加工位置を設定した。

実験に用いた宝石を図2に示す溝加工用ジグに取り付けた後、回転している宝石にレーザー光を照射して加工を行った。

この場合、レーザー光はブリリアントカットされた宝石のガードル部中央またはガードル部の外周（接線）に照射し、それぞれ回転数を可変させるとともに、図3に示すようにレーザー光をX・Z軸方向に走査し加工を行った。宝石はテーブル面とクラウン部で支持して駆動しているため、回転バランスをとるために、複数のタイミングベルトを用いた。試料としての宝石は、回転中心に明けた小さな穴にパピリオンを挿入し、もう一方の回転ジグはテーブル面に押しつけて、固定した。被加工物は、タイミングベルトを介して回転し、レーザー光は回転中心とガードルが直交する点にセ

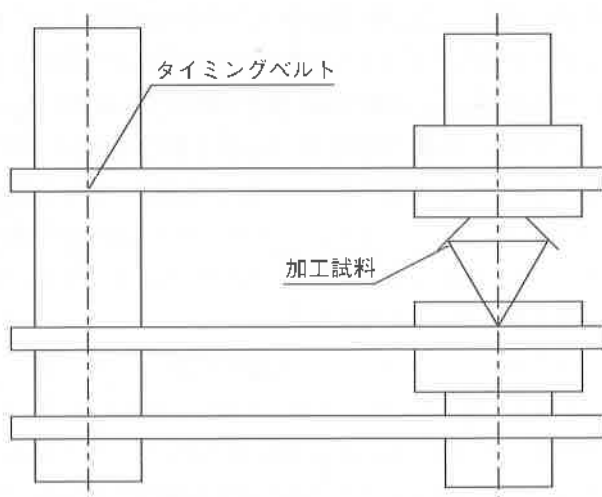


図2 溝加工用治具

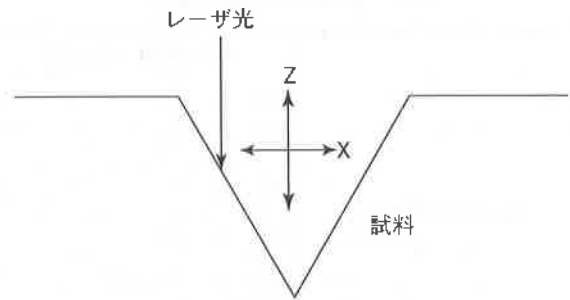


図3 レーザ光走査法

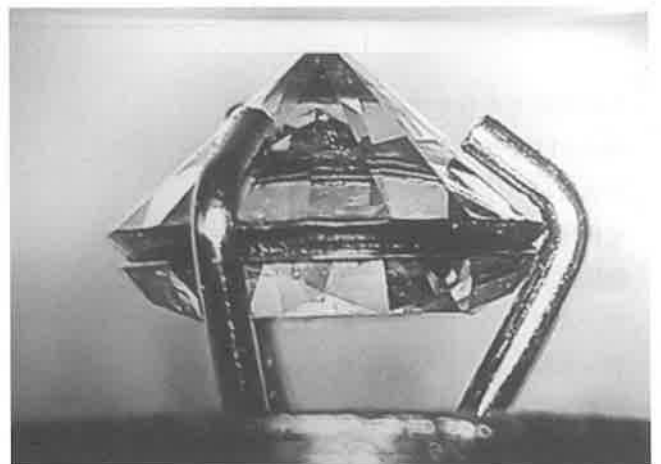


図4 レーザによる宝石の溝加工

ットし、さらにパピリオンと直角にレーザー光を照射するようθ軸にセットされた固定集光光学系を±30度傾けて実験を行った。これらの溝加工用宝石取り付け治具は、X・Yテーブル上にあるY軸と固定集光光学系がセットされているZ軸とを移動させ、V溝或いはU溝を加工した。

この結果、宝石のガードル部中央にレーザー光を照射し加工した場合の方が、入射エネルギーが試料に効果的に働くため、回転数に関わらず遙かに加工速度が早い。

3-3 各宝石の溝加工結果

図4は、0.3ClのダイヤモンドにV溝を形成したものである。この時の加工条件として、試料の回転数は2000rpmで照射エネルギーは8~12W、Qsw発振周波数は10~15KHzで加工した。また、この時の加工時間は、約30秒であった。

各種宝石の溝加工性について、加工実験を行いその加工性の結果を表2に示す。ダイヤモンドと各色キュービックジルコニアにおいては、当初から主対象としていた宝石のため、加工サンプルとして100個以上実験を行った結果から求めた条件である。一方、それ以外の宝石は数個程度の加工実験のため、適正加工条件の把握には至っていない。

さらに、加工後の溝形成宝石を応用した製品として、リングおよびペンダントトップの試作を行い、商品化への検

表2 各宝石のレーザ加工性

宝 石 名	溝加工性
ダイヤモンド	◎
各色キュービックジルコニア	◎
トルマリン	△
水 晶	△
ペリドット	△
ガーネット	△
インペリアル・トパーズ	△

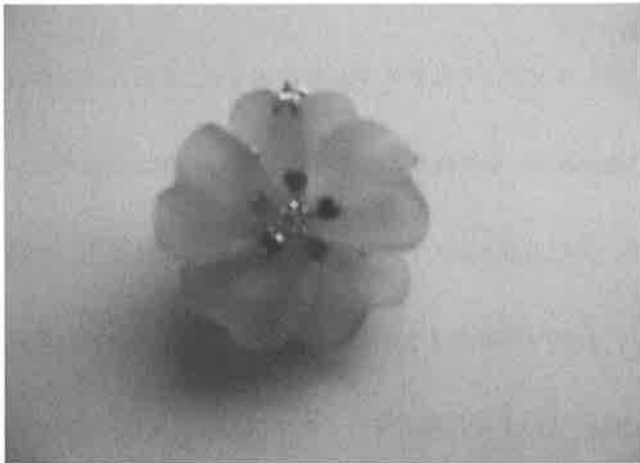


図5 溝を利用した製品（ブローチ）

討を行った。図5は、ペンダントトップに応用したもので、周囲に配置した5個のカラーダイヤモンドは従来の爪留め法を用い、中心に位置するダイヤモンドはレーザにより溝を形成して石留めを行ったものである。

3-4 ダイヤモンドの炭化処理

加工サンプルのなかでダイヤモンドは、レーザ加工後加工面が黒くカーボンで覆われるため、それを化学的及び物理的処理により除去する方法についても検討を行った。

この結果、硝酸と硫酸の混合液の中にダイヤモンドを入れ、30分～1時間程度煮沸することで、除去できることが分かった。

4. 結 論

従来の爪留めから、LD励起YAGレーザによりブリリアントカットされた各種宝石類にVおよびU溝を形成し、その溝を利用することで、全く新しいデザインの宝飾品を開発することを目標に加工実験を行った結果、次のことが明らかとなった。

- (1) YAGレーザによりブリリアントカットやバケットカットされた宝石へ溝を入れる場合、宝石の種類により加工条件が大きく異なるが、キュービックジルコニアとダイヤモンドについてはレーザの平均出力として8

～12W、 Q_{sw} 発振周波数としては3～6 KHzで10分以内で加工が可能である。

- (2) 宝石の溝加工において、宝石のガードル部周囲の接線方向またはガードル部中央にレーザ光を照射し加工した場合、ガードル部中央にレーザ光を照射した方が、入射エネルギーが試料に効果的に働くため、回転数に関わらず遙かに加工速度が早い。
- (3) レーザ加工時、ダイヤモンドの加工面に付着する炭化物の防止法として、アルゴンガスによるシールド効果は殆ど認められない。この炭化物の除去方法として、硝酸および硫酸の混合液中で煮沸することで除去が可能である。

参考文献

- 1) 平野 英樹：最新レーザ加工技術総覧 テック出版 (1994)
- 2) 中山 ほか：山梨県工業技術センター研報 (1995) p22
- 3) 中山 ほか：山梨県工業技術センター研報 (1997) p59
- 4) 中山 ほか：山梨県工業技術センター研報 (1998) p78
- 5) 中山 ほか：山梨県工業技術センター研報 (1999) p66
- 6) ヒコ・みずのほか：宝石デザイン教室