

宝石及び貴金属素材のYAGレーザー加工技術の向上

中山信一・上野正雄

Study on YAG Laser Machining of Gems and Noble Metals

Shinichi NAKAYAMA and Masao UENO

要 約

YAGレーザー加工装置を使用し、金・銀・プラチナ等の高反射率貴金属素材について適用実験を行った。貴金属素材へのYAGレーザー加工は、それぞれ多少の加工性の違いはあるものの、ほとんど問題なく加工できることが確認できた。また、CWQスイッチの発振周波数の変化に伴う加工実験では、P t900は発振周波数が高くなるにつれて加工量が減少する傾向を示した。一方、Au (K18) 及びAg925は5~9KHzまでの範囲では加工量が増加傾向にあり、その後P t900と同様に減少傾向を示した。

また、加工ステージの移動速度が100~1500mm/minの範囲では、比較的低速の時に断続的な加工となり、乱れが生じた。この現象を解消するため、シールドガス及び超音波振動を与えたところ、ともに乱れ防止効果が認められた。

1. 緒 言

本県の代表的地場産業である貴金属宝飾品製造業は、加工工程毎に細分化された小規模企業から成り、それらの多くは他品種少量生産を行っている。また、製品は小さく複雑な形状のために、主要工程は熟練者による手作業への依存を余儀なくされていることが多い。また、製造工程で使用されている機械設備は旧態依然のものが多く、新設備による高度技術の導入が遅れている現状である。このため、製品製造のうえで、前工程の精度の悪さが組み立て精度や最終仕上げ行程まで影響を及ぼし、生産性の低下へとつながっている。一方、貴金属装身具素材は、金・銀・プラチナ等に限定されているため、自ずとデザインにも行き詰まり感が否めない。したがって、デザイン展開で、何らかの加飾を施すことが多い。しかし、従来の手作業での部品接合や特殊工具による加飾加工法では、微細な形状のデザイン表現に限界がある。

そこで、本研究はQスイッチ付YAG (Yttrium Aluminum Garnet) レーザ加工装置を使用して、金・銀・プラチナ等の貴金属素材や宝石に高度な微細加工を施すことにより、新商品の開発を目的としている。

なお、本年度は貴金属素材への適正な加工条件について検討を行った。

2. 実験装置及び方法

図1は、今回の実験に使用したレーザー加工装置である。

本装置は、2台のYAGレーザーとX・Y・Z及び θ の4軸制御機構をもつステージからなり、CAD上でデザインし

た形状に従って、ワークを切断・溶接・マーキングできる複合レーザー加工装置である。



図1 YAGレーザー装置

マーキングにはCWQスイッチタイプのYAGレーザーを、溶接にはパルスYAGレーザーを使用する。

CWQスイッチYAGレーザーを使用しての切断は、レーザー光を固定集光光学系に導き、集光レンズで絞ってX・Y・Z・ θ ステージ上にセットしたワークを、CAD/CAMのデータどおり自動的に動かしながら照射し切断する。

マーキングとして使用する場合は、CWQスイッチYAGレーザーからのレーザー光が固定集光光学系に入る手前で、90度折り返しミラーによりスキャニングヘッドへと導き、マーキング用ソフトウェアで設定した文字や図形をワーク上にマーキングする。折り返しミラーを光路上にセットするには、レーザー用リモートコントロールボックスの光路切り替えスイッチで行う。

溶接用はパルスYAGレーザを使用し、光ファイバーで導いたレーザ光をX・Y・Z・ θ 軸上のステージにセットしたワークに照射する。この場合もCAD・CAMのデータに基づいた自動溶接が可能である。

表1 YAGレーザ加工装置の機能特性

(1) CWQスイッチYAGレーザ LEELASERモデル8100MQ(マーキング・切断用)
(2) スキャニングモジュール General ScanningINC.モデルQLSP-202
(3) パルスYAGレーザ溶接機 Production Systems by LaserINC. モデルQLSP-202
(4) X・Y・Z・ θ オートステージ (X;100,Y;200,Z;100, θ :360度)
(5) 3次元CAD/CAMソフト VISI-CAD/CAM セイコー電子工業
(6) スキャナー用CAD/CAMソフト Vector Layout コムネット(株)

また、レーザ加工装置の制御用コンピュータには素材の形状や大きさに合わせて、倍率調整・座標回転・ミラーイメージ機能等が組み込まれている。

表1は、YAGレーザ加工装置の機能特性を示す。

表2に切断・マーキング用CWQスイッチYAGレーザ(Model 8100MQ)の仕様を示す。

なお、Qスイッチはパルス状の高出力ビームを加工に使用する時に用いる。

表2 YAGレーザ(Model 8100MQ)の仕様

発振波長	: 1064nm
発振横モード	: マルチモード
平均出力	: 70W (繰り返し10KHz時)
ピーク出力	: 130KW以上
繰り返し周波数	: 0~50KHz
ステージ移動範囲	: X;100, Y;200 Z;100mm θ ;360°
スポット径	: 15~20 μ m
消費電力	: 220VAC \pm 10% 50/60Hz,30A

3. 実験結果及び考察

表3は加工実験に用いた貴金属素材の特性で、主に装身具製品に多く用いられている代表的なものである。

表3 使用した貴金属素材の特性

素材	成分	μ mRa
Au(K18)	Au75%,Ag12.5%,Cu12.5%	0.05
Ag(925)	Ag92.5%,Cu7.5%	0.10
Pt(900)	Pt90%,Pd10%	0.05

3-1 素材による焦点誤差と加工範囲

レーザ加工を行う場合、Takenaka Eng. Model WV-1500FのTVカメラと ModelTM-120のVideo Monitorで焦点を合わせる。焦点は、Z軸のパルスモータで0.001mmの精度で調整できるが、試料の反射率の違い等から誤差を生ずる。そこで、Z方向に対しての加工開始位置と加工範囲、さらに各素材による焦点合わせ誤差を求めるために、図2の方法で実験を行った。

正確に θ を33度45分に定めたチルチングテーブルに試料をセットし、パルス繰り返し周波数1.2KHz、励起ランプ出力3.45KW、加工速度500mm/min、ピッチ0.01mm、50往復で幅1mmの加工を行った。

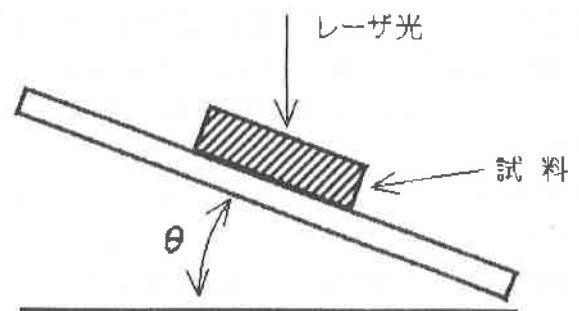


図2 焦点はずし量による加工長さ実験

この試料について、レーザ光の照射開始点(Sp)を起点に、加工開始点及び終了点を測定した。これらの値から、Z方向の追従長さを求めた結果を表4に示す。

この結果、Pt900及びAg925は加工開始点からそれぞれ15.2mm、15.0mm、の位置より加工が始まり、16.6、16.7mmの範囲で加工されることが分かった。この結果をZ方向に換算すると9.21及び9.28mmとなる。一方、Au(K18)はPt900及びAg925と比較すると、加工開始点は14.0mmと最も上部から加工が始まり、加工終了点までの長さも

表4 焦点はずし量による加工長さ(mm)

素 材	Spと加工開始点から加工終了点までの長さ(L)		Z換算値
Au(K18)	14.0	(18.0)	10.02
Pt900	15.2	(16.6)	9.21
Ag925	15.0	(16.7)	9.28

18.0mmと加工範囲が広いことが分かる。この結果をZ方向に換算し比較すると0.81mmの差となる。3種類の貴金属素材の焦点による加工範囲を比較するとAu(K18)>Ag925>Pt900の順となる。このことから、パルス繰り返し周波数1.2KHzにおいて、黄金色のAu(K18)はAg925及びPt900の試料と比較して広い範囲でレーザー光のエネルギーを吸収する傾向にあることが分かる。一方、銀色のAg925及びPt900は反対にレーザー光エネルギーの吸収範囲が狭いため、加工時の焦点合わせがより重要となり、加工量にも微妙に影響を及ぼす。

3-2 加工条件による加工状態

YAGレーザー装置で、貴金属素材の適正加工条件を把握するため、次の実験を行った。素材、パルス繰り返し周波数、励起ランプ出力の3因子について、素材は3水準、周波数は5から35KHzまで31水準、励起ランプ出力は2.5から4.5KWの5水準の組み合わせにより行った。実験の加工軌跡と加工例を図3に示す。このうちの一条件は幅1mmで長さ方向を10mmとし、1条件につき1往復(太線部分)レーザーを走査して加工した。加工状態の評価は接触式の表面形状測定機(SE-3F)で加工断面を測定し、加工条件との関係を調べた。

なお、一般的に加工痕跡が三角形状であるので、平均加工断面積は $H \cdot W / 2$ (H:加工深さ, W:加工幅)より求めた。

3-3 発振周波数と加工面積

図4は、CWQスイッチYAGレーザーの励起ランプ出力を3KW、ステージ移動速度を500mm/minとしたときの、CWQスイッチの発振周波数5~31KHzと貴金属素材の平均加工面積(量)との関係を示す。

Pt900は発振周波数の上昇に伴い急激に平均加工面積が減少するが、Au(K18)は3KHz、Ag925は5KHzで平均加工面積がピークに達し、その後Pt900と同様に減少傾向を示した。

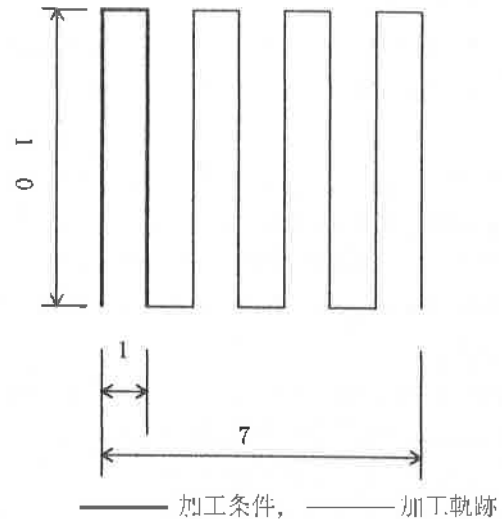


図3 加工条件と加工軌跡

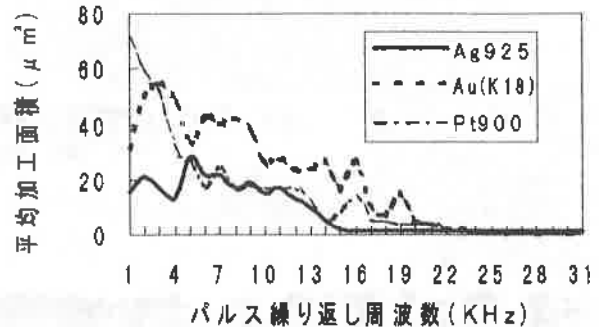


図4 パルス繰り返し周波数と平均加工面積

3-4 ステージ移動速度と平均加工面積

次に、ステージの移動速度を100から1500mm/minまで変化させ、その時の平均加工面積を求めた。

なお、加工時のパルス繰り返し周波数は3KHz、励起ランプ出力は3KWで行った。また、ステージ移動速度が比較的低速では、断続的な加工になることがある。

図5は、ステージ移動速度と貴金属素材の平均加工面積との関係を示す。

Ag925はステージ移動速度に関わらず平均加工面積が約

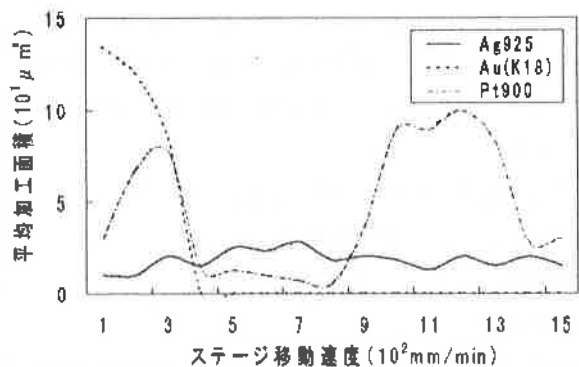


図5 ステージ移動速度と平均加工面積

20~30 μm^2 の値を示した。

一方、Au(K18)では、ステージ移動速度が400mm/minを境に平均加工面積は急激に減少し、その後殆ど加工されなかった。

Pt900では、ステージ移動速度が300mm/minと900mm/min~1300mm/minの2箇所に平均加工面積のピークがあり、その平均加工面積は80と100 μm^2 を示しているが、400~800mm/minの範囲では10 μm^2 程度と平均加工面積は小さい。

Ag925及びPt900について、ステージ移動速度が300及び500mm/minを境に平均加工面積が大きく変動することから、このときの加工状態を観察した。

図6はAg925を発振周波数5KHz、ステージ移動速度500mm/minで加工した表面の顕微鏡写真を示す。

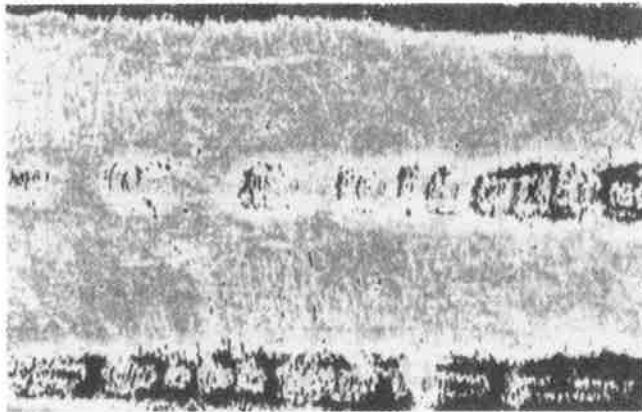


図6 低速時の加工状態 (Ag925,50倍)

このようにステージ移動速度が比較的遅い場合に、レーザー光の軌跡が断続的となって現れ、さらにパルス繰り返し周波数が低く1パルス当たりの照射エネルギーが高い条件においても同様な現象として現れた。これは、ステージ移動速度が比較的遅い条件においては共通して発生する現象であった。

この原因¹⁾として、強力なエネルギーを持つレーザー光を貴金属素材に照射する場合、素材との相互作用を起こす。すなわち、照射された光は素材表面に吸収されて熱に変換され、次第に温度を高めて素材を熔融するが、さらに照射を続けると素材表面に穴(めくら穴)が明き、続いて蒸気雲が生じ、光はそれらに吸収されて高温のプラズマを発生する。このことから、レーザー光が遮られ断続的な加工となると考えられる。

図7は、前述と同様な方法で、Pt900の試料をステージ移動速度が最も低い100mm/minで加工した時の加工表面を顕微鏡撮影したものである。加工軌跡はCADデータに基づいた形状を示している。

図8は、Pt900の試料を速度が最も速い1500mm/minで加工した時の顕微鏡写真である。ステージの移動速度が速い

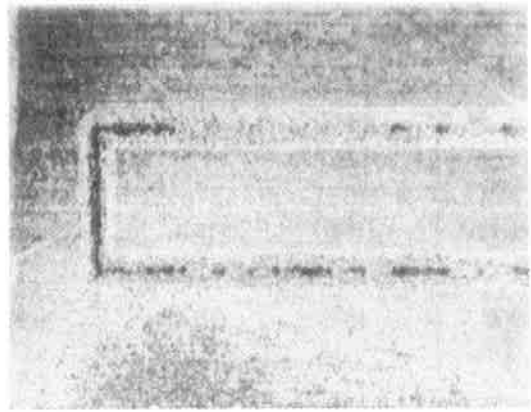


図7 ステージ移動速度100mm/min(Pt900)

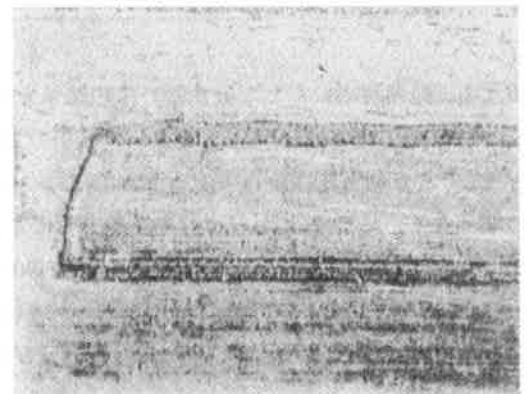


図8 ステージ移動速度1500mm/min(Pt900)

ため、加工軌跡に位置決め誤差等の影響と考えられる乱れ現象が生じている。この乱れ現象は全ての貴金属素材において、600mm/minを境に速度が増すに伴い顕著に現れている。これらのことから、レーザー加工では、ステージ移動速度が低速領域では蒸気雲の影響により、一方高速ではCADデータの形状どおりの加工が困難となる。

3-5 超音波加振とシールドガス効果

レーザー光が蒸気雲に吸収されることを防ぐために、貴金属素材に超音波振動を与える加工を試みた。図9は試作した超音波加振装置の概略図である。

図10は、3種類の貴金属素材に超音波振動を与えながらステージの移動速度を100~1500mm/minに変化させた時の平均加工面積を示す。なお、パルス繰り返し周波数は1.6KHz、励起ランプ出力は3.5KWである。

Au(18K)は100~200mm/minの範囲で加工が可能であるが、それ以上では殆ど加工されない。一方、Pt900は、ステージ移動速度100~1500mm/minの全範囲で加工が可能であり、それらの平均加工面積は約50 μm^2 であることから、超音波加振の効果が見られる。Ag925についても、100~1500mm/minのステージ移動速度範囲で、加工面積の変動幅は大きいものの加工が可能であり、平均加工面積は約40 μm^2 となり超音波加振の効果が現れている。

次に、レーザー加工で多く用いられるシールドガス(空素)

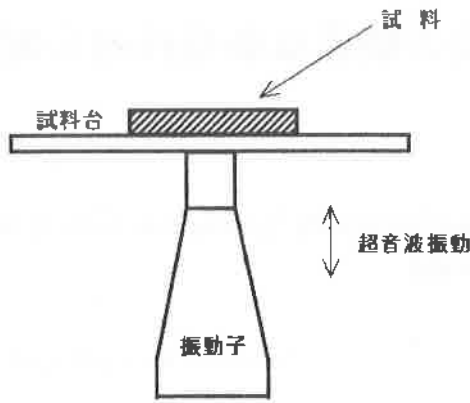


図9 超音波振動の加振装置

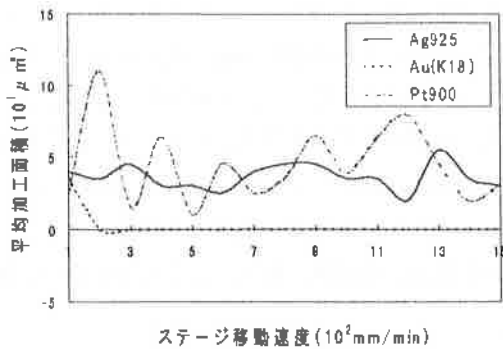


図10 ステージ移動速度と平均加工面積 (超音波加振)

及び超音波振動を与えときのAg925について、通常では殆ど加工不可能であるパルス繰り返し周波数20KHz、励起ランプ出力3.5KWで行い、この結果を図11に示す。

シールドガスのみを使用した試料と、シールドガスと超音波振動を併用して加工した試料とを比較すると、両者の平均加工面積に差は殆ど見られないが、シールドガスのみの方は平均加工面積の変動幅が後者より僅かに大きい。また、両試料ともにステージ移動速度の上昇に伴い、平均加工面積が緩やかに減少する傾向にある。これらの平均加工面積は、先のシールドガス未使用或いは超音波振動のみで加工した試料と比較すると、約1.2倍から1.4倍の値を示している。また、シールドガス、超音波振動を併用したものは平均加工面積に多少の変動があるものの、ステージ移

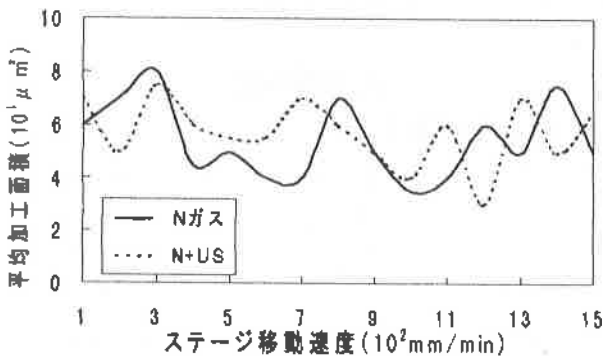


図11 加工方法と平均加工面積(Ag925)

動速度の影響が少ないことが言える。

4. 結言

以上、3種類の貴金属素材にQスイッチ付きYAGレーザー加工装置を使用した適用実験の結果は次のとおりである。

- (1)YAGレーザー光の焦点はずし量による加工長さから、黄金色のAu(K18)は、Ag925及びPt 900の試料と比較して、合焦点からの偏差が広い範囲でエネルギーを吸収する傾向にある。その加工長さは、Au(k18)>Ag925>Pt900の順である。
- (2)CWQスイッチの発振周波数と平均加工面積との関係は、Pt900ではパルス繰り返し周波数の増加に伴い平均加工面積が急激に減少する。一方、Au(K18)ではパルス繰り返し周波数が3KHz、Ag925では5KHzのとき平均加工面積がピークに達し、その後パルス繰り返し周波数の増加に伴いPt900と同様に減少傾向を示す。
- (3)ステージの移動速度を低速で、レーザー光を試料に照射し続けると光は、蒸気雲に吸収され不安定な加工となる。
- (4)平均加工面積は、Ag925ではステージ移動速度に関わらず殆ど一定であり、Au (K18)では、400mm/minを境に平均加工面積が減少し、Pt 900では、300mm/minと900mm/min～1300mm/minの範囲にピークが現れる。また、ステージの移動速度が600mm/minを境に増すと、加工軌跡の乱れは大きくなる傾向にある。
- (5)素材に超音波振動を与えると、ステージ移動速度による平均加工面積の変動への影響は小さく、Pt 900及びAg925に対しては、超音波振動の加工面積への影響は大きい。
- (6)シールドガス及びシールドガスと超音波振動を併用した加工では、ステージ移動速度に関わらず平均加工面積への影響は少ない。

参考文献

- 1) 森昌幹ほか：レーザー応用技術ハンドブック、朝倉書店 (1984) 66
- 2) 平野英樹：最新レーザー加工技術総覧、テック出版 (1994) 396
- 3) 中山信一ほか：山梨県工業技術センター研究報告 (1995) 22