

宝石の高精度研磨加工技術の研究（第3報）

—前加工技術の確立及び試作装置によるカット実験—

上野正雄・中野公一・岩間貴司・石原道雄

Study on High Precise Cutting Method of Precious Stone (Part 3)

Development of Orientation and Dopping method and Gem cutting by trial manufacture machine

Masao UENO, Kimikazu NAKANO, Takashi IWAMA and Michio ISHIHARA

要 約

高精度研磨加工技術に関する検討を行った。①石取り加工手法の開発については、ガードルベベル研削機を用いて研磨加工装置での取り代が最も少なくなるような前加工形状の加工条件について検討した。②割り出しドップとドップ付け手法の開発については、市販の接着剤について、接着強度試験等により、ドップ付け条件に最適な接着剤を選定し、大幅に改造依頼したドッピング機を購入し、反転接着工程の自動化を確立した。③高精度研磨加工装置への適応実験については、研磨加工実験機、自動割り出しファセターによりラウンドブリリアントカット形状の加工を行い、切り込み量等の数値データ及び、加工上の問題点を抽出した。

1. はじめに

現在、宝石のファセットカット、カットビーズなど多面体研磨加工は、簡易な治工具を用いての手作業で行われているが、相当な熟練技術と多くの加工時間を要するうえに、高品質などの消費者ニーズに応えにくい。また作業環境も悪いため後継者不足も問題になっている。そこで、自動化、省力化及び高品質化のための宝石研磨加工技術を確立する各種手法及び加工技術を開発する。平成元年度は、高精度研磨加工装置に必要な、

- “①石取り加工手法の開発”
- “②割り出しドップとドップ付け手法の開発”
- “③高精度研磨加工装置への適応実験”

の三つのテーマについて取り組み、各種の基礎実験を実施した。

①については、研磨加工装置にセットする宝石の前加工条件について検討した。

②については、ドップ付けに最適と思われる接着剤を、市販品の中から選定し、接着強度試験などをおこない、接着条件について検討した。

③については、高精度研磨加工実験機を使用し、実際にカットを行い問題点を抽出した。

これらの実験結果について報告する。

※なお、本研究は地域システム技術開発事業

“宝石貴金属製品の製造高度化システム”の要素技術研究開発の一環で実施したものである。

2. 実験方法

2-1 石取り加工手法の開発

- ・最適な素材形状の検討
- ・石取り加工条件の検討

研磨加工装置での加工量が最も少なくなるような最適素材形状について、ガードルベベル研削機を用いて前加工し、実際の研磨加工を行いながら寸法、加工角度など加工条件を設定した。

2-2 割り出しドップとドップ付け手法の開発

- ・割り出しドップのメカニカル機構の検討
- ・ドップ付け条件の検討

ドップ付けに最適なホットメルト系接着剤を、市販品の中から3種類選定し、接着強度試験及び接着作業における操作性について実験を行った。

①実験装置

接着強度試験には、引張圧縮万能試験機（TOM5000D Shinkou 社製）を使用した。また操作についてはドッピング機を使用し、反転接着作業を実際に行い最適なドップ付けを可能にする条件を検討した。

②実験方法

接着強度試験に使用した試験片を、図1に示す。

被着体を、図2に示す。

実験に、使用した試験片は二組で、実験毎に被着体を洗浄し、接着作業を行った。また接着強度のバラツキを少なくするために、試験片を作成するときに使用する接着剤は片面で、約15mgとし、接着終了後、5分後に引張試験を行った。なお、試験片は、2ヶ所で接着されるため、接着強度が弱い方の面で切断されることになる。


また、図2において、水晶の接着面は、反転接着を想定し、鏡面加工面とし、接着治具は、高精度研磨加工試作装置のドップを使用した。



図1 試験片 は接着剤

素 材	Al
加工方法	旋削による端面加工
表面粗さ	約1 μ m Ra
平面状態	最大うねり 約10 μ m

(a) ドップ

素 材	人 工 水 晶
形 状	ϕ 8mm * 2.12mm
加工方法	鏡面仕上げ(両面)
表面粗さ	0.04 μ m Ra
平面状態 (レーザ干渉計)	
表面撮影 (金属顕微鏡)	
倍率(500倍)	

(b) 水 晶

図2 被着体

2-3 高精度研磨加工装置への適応実験

1) 切込みデータの数値化

高精度研磨加工実験装置を使用し、数種類のカット形状に対する切込みデータを収集し、本装置への基礎データとする。

カットの種類は最も一般的なラウンドブリリアントカットを対象とした。ラウンドブリリアントカットのファセット角度、切込み量は近似計算を行い、それに基づいて実際の切込みを行い、切込み量を調節した。

実験装置を写真1に示す。2つの砥石軸と一つのファセットカット用割り出しユニットからなる装置であり、ファセターヘッド部は、ステッピングモーターにより揺動及び上下方向に駆動する。角度及び回転割り出しはウォームギアをかいしたハンドルを手動で調節し、砥石はインバータにより回転速度を変化させることができる。実験機には上下方向の微動機構がないため砥石の修正等による原点の補正が難しい。そのため切込み量の変化は、その都度直接データを補正した。

被削材は水晶8mm ϕ を使用した。ファセターは能率向上のため連摺りを想定し、4連ファセターを使用した。また、砥石は能率、仕上げ面ともに優れているR砥石を使用した。



写真1. 実験装置

2) 仕様の再検討及び制御技術の確立

実験機を使用し、自動割り出しファセターによっ

で実際のカット仕上げを行い、問題点を抽出する。

仕上げ工程及び鏡面仕上げ工程では被削物の除去がほとんど行われない。特に鏡面加工では一般に荷重を小さくした方が良い面を得られることが知られているので、強制切込みを想定した加工機はスパークアウト研削が必要である。PCによるシーケンス制御の実験機には1.6秒という極めて短い時間しか設定できない。そこで容易にスパークアウト研削を行うために一部配線をかえ、切込み用ステッピングモーターのドライバーにパーソナルコンピュータから直接パルスを送るように改造した。また、ファセター取り付け部のバネによる過負荷を吸収する機構があるが、切込み精度を上げるために、ボルトで動かないように固定した。スパークアウト研削の実験条件は表1に示すとおりである。

表1. 研削条件

研削送り量	0.2mm
研削速度	10 μm/sec
砥石回転数	1150 rpm
砥石	SD 600 R
被削材	水晶 8mm φ

角度割り出しは自動に行う装置を想定し、単軸自動割り出しファセター（写真2）を実験機に取り付け自動割り出し実験を行った。ステッピングモーターの制御は切込みの場合と同様パーソナルコンピュータのプログラムからパルスを発生させ、直接パルスをドライバーに送る方法をとった。割り出し部の位置決めはパルス数をカウントする方法を取った。回転割り出しの駆動方向はバックラッシの影響を避けるため一方向のみとし、角度割り

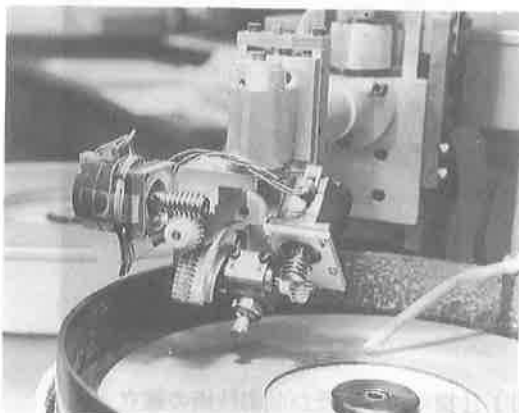


写真2. 自動割り出しファセター

出しに付いても一方向から近づけるようにプログラム上で考慮した。

3. 実験結果及び考察

3-1 石取り加工手法の開発

- 最適な素材形状の検討
- 石取り加工条件の検討

石取り研削機で前加工を行う場合、仕上げ寸法を見込んで、余裕を取ることが必要である。石取りから荒摺の段階で、はじめてファセット面をカットするが、図3に示すようにカット面の頂点の部分が最後に残る部分である。この部分で稜線が明瞭に交わるように石取りの段階で考慮する必要がある。そこで、ガードル部の厚さを判断基準として石取り加工を行うことにする。

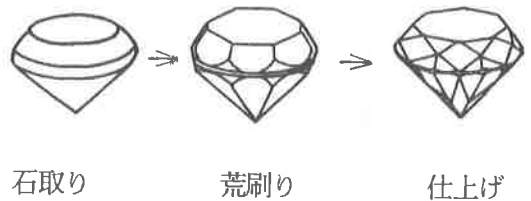


図3. ファセットカット面の成形過程

標準ラウンドブリリアントカットの切込み量はテーブル60%とした場合、次の計算式となる。

$$t = \frac{1}{2} \{ T \cos(22.5) + \frac{1}{2} (D - T \cos(22.5)) \frac{HC1}{HC} (D - T) + T \} \tan(\alpha) + \frac{1}{2} \left\{ \frac{3}{2} D - \frac{(HP1)^2}{HP} \right\} \tan(\beta) + gt$$

- t : 石取り厚さ
- HC : クラウン高さ
- gt : ガードル厚
- HC1 : " スターファセット高さ
- α : クラウン・メインファセット角
- HP : パビリオン高さ
- β : パビリオン・メインファセット角
- HP1 : " スターファセット高さ

ガードルを直径8mmに対して厚みを2%残すとすれば、石取り加工時にガードル部に残す全体の長さは、0.45mmとなる。実験では安全率を見て、全体寸法を0.60mmで行った。しかし、実験装置の切り込み量が不安定でガードル量にバラツキがある。装置の加工結果によって前加工寸法を決定する。

3-2 割り出しドップとドップ付け手法の開発

- 割り出しドップのメカニカル機構の検討

・ドップ付け条件の検討

図3に三種類の接着剤を使用した試験片の引張試験結果を示す。図3において、Aは、従来より使用されている接着剤、B及びCは今回選定した接着剤である。

実験結果よりB、Cはほぼ同じ引張応力を示したが、AはB、Cと比較して2割程低い結果となった。したがって、B及びCは、接着強度を考えた場合、ドップ付けに使用できることがわかった。

接着剤	A	B	C
引張応力 (kg/cm ²)	29.8	37.5	38.2

図3. 引張試験結果

図4に、ホットメルト系接着剤の操作性に大きく関連のある軟化点、形状について示す。

A、Bは、軟化点が低く、接着作業が容易であるが、素形状を微細化することが困難であり、ディスプレイなどを使用した接着剤の自動供給には、不向きである。Cは軟化点が高く手作業での接着作業には不向きであるが、ワックス形状であるため、微細化が容易であることがわかった。

接着剤	A	B	C
軟化点 (°C)	80以下	79	110
性状	樹脂状	樹脂状	ワックス状

図4. 接着剤の軟化点

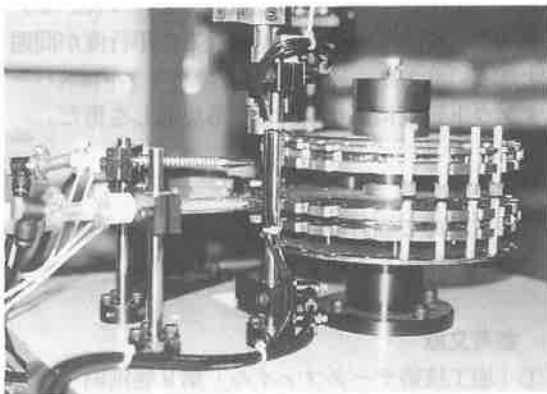


写真3 ドッピング機

更に、ドッピング機を用いての反転接着実験では、1サイクル、25sec、接着剤溶融温度95°Cで好結果を得た。

3-3 高精度研磨加工装置への適応実験

(1) 切込み量の数値化

4連ファセターを使い、実験機により、実際のカットを行った。実際の加工データの例を表2に示す。磨き工程に付いては、被削材の除去はほとんど行われないので、単に切込み量として扱うことはできない。今回は一律に荒摺から0.10~0.15mm程度の強制切込みによって負荷をかけ、10~15分保持した。

写真3は、実際に4連ファセターで、研削、研磨したカット面である。カット面の大きさに多少のバラツキが見られる。左端の試料については、スターファセットの稜線が交わっていない。逆に右端の試料については深く交わりすぎている。4連ファセターの砥石面との平行度の調整が必要である。また、片持ち支持であるため、機構等にも問題あると考えられるので今後の検討課題としたい。切込みデータはその影響をさけるため支持側に一番近い軸で判断した。

表2. 切込みデータ

ガーネット 6mmφ	割り出し 角度	最終切込み位置 0.001mm
テーブル	0°	0
メインファセット	37°	5250
スターファセット	27°	3870
ガードルファセット	60°	10970

水晶 8mmφ	割り出し 角度	最終切込み位置 0.001mm
テーブル	0°	0
メインファセット	42°	5200
スターファセット	27°	2000
ガードルファセット	49°	6970

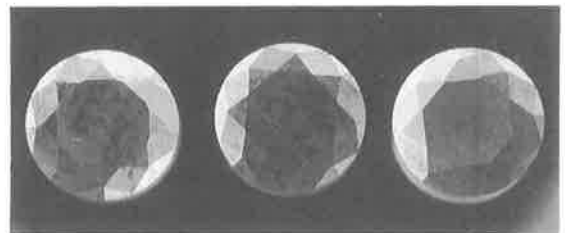


写真3. カット面 (4連ファセター)

(2) 仕様の再検討及び制御技術の確立

- ・割り出しファセターによるファセットカット

自動割り出しファセターによりカットを行ったところ、砥石を回転させると割り出しが正確に行われないことがわかった。砥石回転数制御のためのインバータのノイズの影響と思われる。ノイズの対策として、ステッピングモーターのドライバーの入力部にコンデンサーを使用することにより解決できた。

ブリリアントカットのクラウン形状にカットしたものが写真4である。左端の試料についてはカット面の大きさは均一であり、稜線も一致しているが、残りの試料についてはカット面の大きさにバラツキがある。今回の実験は切込み量のデータを中心に行ったので、同一試料の加工中は原則として砥石修正は行わず、その影響により砥石の研削効率にバラツキを生じたものと思われる。

スパークアウト研削量を図5に示す。スパークアウト研削量はかなり大きく、強制切り込みによってファ

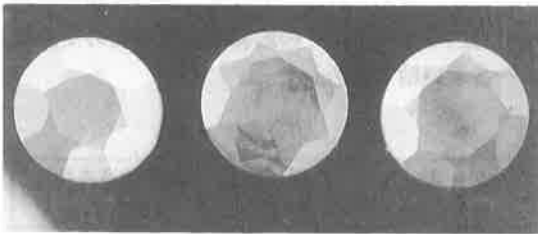


写真4. カット面 (自動割り出しファセター)

表3. 仕上げ面粗さ

スパークアウト時間	30	50	80
表面粗さ (Ra)	0.04	0.04	0.04
(Time : sec)	100	150	200
(Ra : μm)	0.03	0.03	0.03

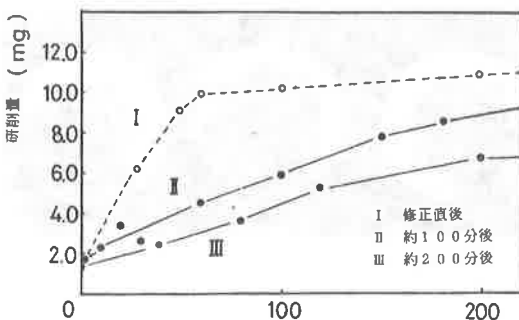


図5. スパークアウト時の研削量

セターヘッド、アーム等の機構等に弾性変形が生じていると考えられる。今回使用した砥石の場合、砥石修正直後については研削が約60秒以内終了することがわかる。また、スパークアウト研削時の表面粗さの状態を表3、に示す。研削条件は図5の場合と同じである。

スパークアウト研削の時間により表面状態が良くなる傾向が現れている。表面状態の変化が大きく現れないのは、切込み量を大きくとったので、スパークアウト研削が進んだものと思われる。

4. まとめ

①については、ガードルベベル研削機を用いて、研磨加工装置での取り代が最も少なくなるような前加工条件について検討した。直径8mmφのラウンドブリリアンカットではガードル厚さで0.6mm残せば良いことがわかった。

②については、今回、3種類のホットメルト系接着剤を用いて接着強度試験、試着作業における操作性について実験を行った。その結果、1) 接着強度は、従来品AよりB、C共に高い値を示した。2) 接着作業の操作性に、軟化点が大きく影響し、軟化点が低いほど作業能率が上がるということがわかった。3) ディスペンサなどを用いた接着剤の自動供給を想定した場合は、素材形状がワックス状であるCが最適であることがわかった。

③については、高精度研磨加工実験機を用いて実際の宝石のカットを行った。1) ラウンドブリリアント形状の切込み量の数値化を行った。2) 4連ファセターの場合、砥石面との平行度が問題となる。3) カット面の大きさのバラツキはスパークアウト研削により改善できる見通しを得た。

謝 辞

本実験にご協力戴いた(株)イマハシ製作所に心から感謝申し上げます。

参考文献

- ①「加工技術データファイル」第9巻別刷 宝石の加工(財)機械振興協会技術研究所
- ②近山晶「宝石」その美と科学 全国宝石学協会
- ③青木正夫シーケンス制御回路のしくみ (上・下巻) (株)技術評論社