

令和 5 年 5 月 27 日現在

機関番号：33302
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2020～2022
課題番号：20K04214
研究課題名（和文）人体に安心安全な医療用工具を製造するためのレーザーによる砥粒固着技術の開発

研究課題名（英文）Development of diamond grains fixing technology to manufacture safe and secure medical tools for human body by laser

研究代表者
諏訪部 仁（Suwabe, Hitoshi）

金沢工業大学・工学部・教授

研究者番号：40202139
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではファイバーレーザーを工具の台金に直接照射することによって、台金の一部を溶融させ、その溶融箇所にダイヤモンド砥粒を噴射することによって、砥粒を固着させている。本方法を用いることによって、現在産業界や医療界で用いられているダイヤモンド工具のような砥粒固着剤を使用しないため、人体に安心安全な工具を作製することができる。
本申請課題の期間中には円筒型のパイプの端面にダイヤモンド砥粒を固着させた脳外科手術用工具やダイヤモンドバーと呼ばれる歯科治療用工具の開発を行った。そして、これらの工具でソーダガラスを用いて加工評価した結果、十分使用に耐え得る工具の開発ができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在、骨や歯を加工するためのダイヤモンド工具はニッケルメッキによって砥粒を電着した工具が主流である。ニッケルは人体にとってアレルギー物質の1つで、このニッケルに対して金属アレルギーを発症する人は多い。

本研究では工具となる台金にダイヤモンド砥粒を噴射させながら、レーザー光を照射して表面を加熱・溶融させ、その溶融部の凝固とともにダイヤモンド砥粒を固着する技術を開発した。本方法で工具を製造した場合、ダイヤモンド砥粒は母材金属によって直接保持できるため、砥粒の固着力が高い工具となり、工具の長寿命化が期待できる。また、台金金属としてチタン等の材料を使うことによって人体に安心安全な工具が製造できる。

研究成果の概要（英文）： In this study, the tools were fabricated by directly irradiating laser on the base metal of the tool, and the diamond grains were injected at the melting part of the base metal. By using this method, the safe and secure medical tools for the human body could be made without using abrasive grain fixers such as currently normal diamond tools.

During the period of this application, I developed tools for brain surgery in which diamond abrasive grains were fixed to the end surfaces of cylindrical pipes, and tools for dental treatment called diamond bars. Then, as a result of processing evaluation using soda glass with these tools, a tool which can be used sufficiently was developed.

研究分野：加工学及び生産工学関連

キーワード：レーザー ダイヤモンド工具 医療用工具

1. 研究開始当初の背景

脳外科手術の手術方法手術方法の中で、頭蓋骨を切り開いて腫瘍部分を除去する手術(患部の除去手術)は腫瘍患部の9割以上を摘出することができるため、多く使われている手術方法である。本手術にはダイヤモンドバーと呼ばれる様々な形状をした工具が頭蓋骨の3~4カ所に穴を開け、その穴から穴の間を削りとって、頭蓋骨の一部を切断する方法が行われている。このとき用いられている医療用工具はニッケルメッキ法によってダイヤモンド砥粒を固着した電着工具が主流である。しかしながら、ダイヤモンド砥粒の固着に用いられているニッケルはアレルギー物質の1つで、このニッケルに対して金属アレルギーを発症する人は多く、重症の場合には生命に危険を及ぼすことが危惧されている物質である。現在は、手術での人体に触れる時間が短いために、ニッケル電着工具は規制対象にはなっていない。しかしながら、欧州を中心にすでに使用規制が一部で始まっており、今後、日本でも規制の流れが高まることが予想されている。そこで、ニッケル等のアレルギー物質を全く含まない医療用工具を製造する技術の開発は工業的に大変有効であると考え、研究を開始させた。

2. 研究の目的

本申請課題では、図1に示すように、工具となる母材金属をレーザー照射によって溶融させ、その部分にダイヤモンド砥粒を吹き付け、その溶融部分が固まる際に砥粒を固着する技術開発することによって、医療用工具や産業用工具の新しい製造方法の創製を目指している。

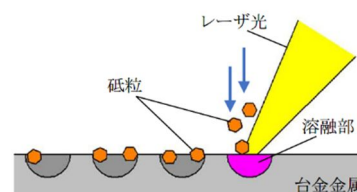


図1 レーザによるダイヤモンド砥粒の固着モデル

本申請課題期間中には、細粒ダイヤモンド砥粒の噴射及び溶融部への固着技術の開発、各種形状工具への本製造方式を適用する技術の開発に加えて、試作したダイヤモンドバーの加工特性の評価方法の確立も目指している。また、本申請課題で開発した砥粒固着技術が一般的な産業界でも利用できる工具となり得るのかを検討することを本研究の目的としている。

表1 レーザ照射条件

台金	SUS304	φ10, 0.5t,
	Ti-6Al-4V	φ1.5
レーザー光出力	L_p	130~350 W
パルス幅	P_w	20~30 ms
レーザー波長		915 nm
レーザー入射角		40°
レーザースポット径		φ0.3 mm
砥粒	材質	ダイヤモンド
	平均粒径 D	228 μm

3. 研究の方法

3.1 レーザによる砥粒の固着方法

本実験で使用したレーザー発振器は最大出力450Wの装置である。レーザー光はまず、発振器から3本の光ファイバーチューブを介して伝達され、焦点距離75mmのレンズで工具母材表面3方向からレーザーを工具母材表面に照射する。このとき3本のレーザー光の入射角は40°とし、レーザースポット径はφ0.3mmで台金表面を溶融させる。なお、レーザー照射中には酸化を防ぐためにアルゴンガスを溶融部付近に連続的に供給した。レーザー光照射部の上方には砥粒供給器が設けられている。そして、この砥粒供給器の噴射ノズルがレーザー照射部の5.5mmに設置されており、溶融部で固着させるダイヤモンド砥粒はこの噴射ノズルからアルゴンガスと共にレーザー光照射部に連続的に噴出させた。このとき、溶融部に噴出された砥粒はその溶融部が冷えて固まる過程で固着される。この工程を連続して行うことにより、工具が作製できる。また、レーザー照射の条件については表1に示す。

表2 加工及びドレッシング条件

穿孔加工条件		
工作物	材質	ソーダガラス
	厚さ	5 mm
工具回転速度		500 min ⁻¹
切込み量		5 mm
イン チング	送り量	0.5 mm
	戻し量	0.4 mm
	工具移動速度	0.1 mm/s
加工液	種類	水溶性加工液 20倍希釈
	流量	12.5 ml/min
砥粒	材質	ダイヤモンド
	平均粒径 D	228 μm
前処理・ドレッシング条件		
工具回転速度		100 min ⁻¹
工具切込み速度		0.01 mm/s
切込み量		0.2 mm
加工液	種類	水溶性加工液 20倍希釈
	流量	16 ml/min
砥石		GC#800

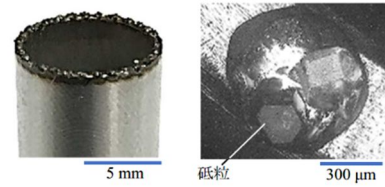
3.2 試作工具の加工評価方法及び加工条件

表2に主な穿孔加工ならびにドレッシングの条件を示す。工具台金として、外径10mm、肉厚0.5mmのステンレスパイプと1.5mmのチタン棒を用いた。本装置の駆動軸には三方締めドリル用チャックを固定し、このチャックに試作したドリル工具を取り付け、回転させた。実験に際して試作したドリル工具は前処理として、同表に示す前処理・ドレッシング条件でソーダガラスを加工し、工具表面の固着が不十分なダイヤモンド砥粒の除去を行った。その後、工作物はバイスに挟み込んで固定し、加工部付近にポンプで加工液を連続的に供給しながら穿孔加工の場合にはインチング加工した。なお、試作したダイヤモンドドリル工具をドレッシングする場合は、GC#800の砥石を用いて行った。

4. 研究成果

4.1 レーザ溶融法で試作したダイヤモンド工具 (SUS)

図2は外径10mm,肉厚が0.5mmのステンレスパイプのエッジ面に32箇所等間隔でレーザー照射を行い,その溶融部に砥粒を固着したダイヤモンドドリル工具の観察写真である.なお,レーザーは,出力130W,パルス幅25msの条件でレーザー照射を行い,228 μ m径の砥粒を使用した.同図(a)はダイヤモンドドリル工具の外観で,同図(b)は32箇所照射した溶融部のうちの一部を示した写真である.各溶融部に対して2~3個程度の砥粒が固着できている.



(a)工具の外観 (b)拡大図
図2 試作工具の観察

SUS304のエッジ部に,レーザー照射出力280W,パルス幅10msの条件でダイヤモンド砥粒を固着したときの溶融部の観察写真を図3に示す.なお,本観察写真は図中の丸で示されたダイヤモンド砥粒付近をサンドペーパーで磨いてから撮影を行った.ダイヤモンド砥粒の表面は黒くなっており,黒鉛化していることがわかる.しかしながら,サンドペーパーで磨いた面ではダイヤモンド砥粒の元の面の色が観察できた.また,砥粒のエッジ部も角張った状態が維持できていることが確認できた.以上のことから,固着しているダイヤモンドが黒鉛化するのは表層だけで,加工に十分耐えうる砥粒である可能性を示すことができたと考えられる.

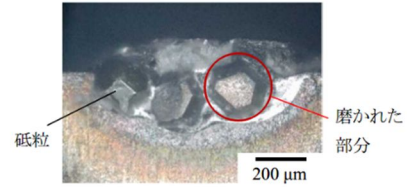
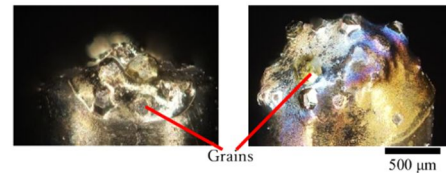


図3 試作工具の砥粒観察

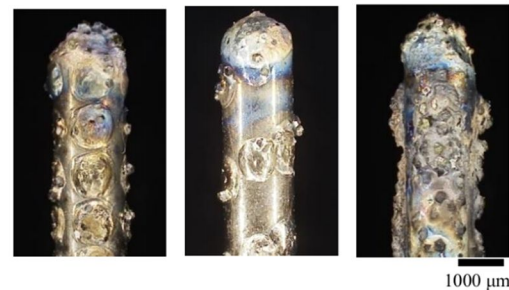
4.2 試作したダイヤモンド工具 (Ti-6Al-4V)

1.5mmのチタンピン端面のみにレーザーを照射して試作した工具の観察写真を図3に示す.同図(a)はチタンピンの端面2箇所にレーザー光出力350W,パルス幅30msでパルス照射をした場合で,(b)は端面にレーザー光出力280W,レーザーヘッド移動7.5mm/sでピンの中心に沿って連続照射した場合を示している.同図より,パルス照射の場合は台金の端面の形状が維持されていることが分かる.それに対して連続照射の場合は台金が溶融し,端面が丸みを帯びていることが分かる.



(a)パルス照射 (b)連続照射
図4 端面に固着した砥粒の観察

図5はチタンピンの端面に連続照射し,その後側面にレーザーを再び照射して作製した工具側面の観察写真を示している.同図(a)はチタンピンの長手方向に直線状にパルス照射した場合,(b)はチタンピンの長手方向に螺旋状にパルス照射した場合,(c)はチタンピンの長手方向に直線状に連続照射した場合を示している.同図より,チタンピン側面に連続照射するとダイヤモンド砥粒は全体的に固着できているが,レーザー照射時の熱影響を強く受けていることが明らかとなった.



(a)パルス照 (b)パルス照 (c)連続
射一列 射螺旋 射一列
図5 側面に固着した砥粒の観察

4.3 試作したダイヤモンド工具の加工評価

図6はステンレスの台金を用いて試作したダイヤモンドドリル工具で厚さ5mmのソーダガラスに5回穿孔加工を行った結果を示している.同図の最大スラスト荷重とは,イン칭加工を行っているため,穿孔加工中のスラスト方向の荷重は櫛刃上の挙動を示すが,そのピーク値を抽出し,その平均値を最大スラスト荷重として評価した.また,ドレッシングありの実験は各加工終了時にドレッシングしたときの結果である.ドレッシング無しの場合に最大スラスト荷重は加工回数の増加と共に減少し,加工回数4回目以降は一定値を示している.それに対して,ドレッシング有りの場合は加工3回目のデータでは若干異なっているが,ドレッシング無しの場合とほぼ同様の傾向を示している.これらの結果より,加工開始時において,固着力の弱い砥粒の脱落を生じながら砥粒の突き出し量が加工に適した状態になるまで最大スラスト荷重は変化したと思われる.しかしながら,その後は安定した加工が実現できることがわかった.

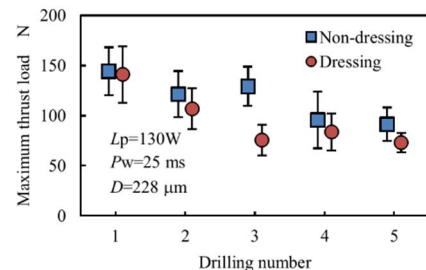


図6 SUS台金工具の加工特性

図7はチタンピンの端面のみにパルス照射した工具と連続照射した工具の穿孔加工中の最大スラスト荷重と加工回数の関係を示す.工具端面は図4で既述の通り,それぞれの形状は異なっている.同図中の縦軸は穿孔加工中のスラスト荷重を示している.また,本実験では厚さ3mm

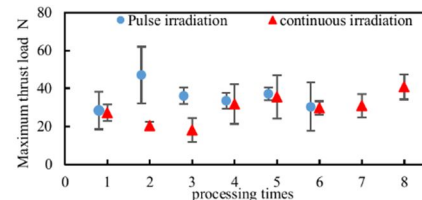
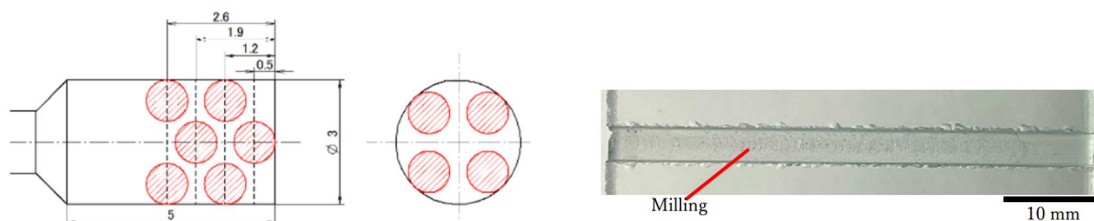


図7 チタン台金の加工特性

のソーダガラスを用いており、横軸はこの工作物を貫通したときの回数を表している。パルス照射の場合は6回目の加工途中までに砥粒が脱落し、それ以降は加工できなかったが、連続照射では16回加工しても十分加工できた。また、パルス照射した工具に比して連続照射した工具のラスト荷重の方が加工初期においては低くなる傾向を示すことが分かった。

図8にチタンピンにダイヤモンド砥粒を固着した工具を用いてミーリング加工した結果を示す。実験開始当初は図5(a)の工具を試作して、切込み深さ2mm、工具回転数1800rpm、送り速度0.1mm/sで全長50mmのソーダガラスのミーリング加工を行ったが、実験で使用した加工装置の回転数不足により、数mm程度加工した時点で工具が変形し、それ以降加工することができなかった。そこで、同図(a)に示すように3mmのチタンピンにパルス照射した工具を用いて実験を行った。同図(b)に溝加工実験後のソーダガラスの観察写真を示す。同図より、ソーダガラスに対して長さ50mm分の溝加工を施すことができた。また、工具側面には多数の砥粒が残っていたことから加工に十分に耐える工具が試作できたと考えられる。



(a) 試作したミーリング工具

(b) 加工後のガラス

図8 チタン合金工具によるミーリング加工の加工

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 諏訪部仁, 三輪昇平, 舟田義則, 石川憲一	4. 巻 66
2. 論文標題 レーザ溶融法を利用したダイヤモンドドリル工具の開発	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 砥粒加工学会誌	6. 最初と最後の頁 261 - 266
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高山洸輔
2. 発表標題 レーザを用いてダイヤモンド砥粒を固着したミーリング工具の開発
3. 学会等名 砥粒加工学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高山洸輔
2. 発表標題 レーザ固着法を用いたダイヤモンドミーリング工具の開発
3. 学会等名 精密工学会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 高山洸輔, 諏訪部仁, 石川憲一
2. 発表標題 レーザを用いてダイヤモンド砥粒を固着したミーリング工具の開発
3. 学会等名 2022年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高山洸輔, 諏訪部仁, 石川憲一, 舟田義則
2. 発表標題 レーザー固着法を用いたダイヤモンドミーリング工具の開発
3. 学会等名 2023年度精密工学会春季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三輪昇平
2. 発表標題 レーザー溶融法を利用したダイヤモンドドリル工具の開発
3. 学会等名 砥粒加工学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三輪昇平
2. 発表標題 レーザー溶融を用いたダイヤモンド工具の加工特性に関する研究
3. 学会等名 砥粒加工学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三輪昇平
2. 発表標題 レーザーによって作製したダイヤモンドドリル工具の加工評価に関する研究
3. 学会等名 精密工学会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------