

大口径サファイアの熱応力割断におけるき裂進展挙動

金沢大学 ○齊藤 立矢, ◎古本 達明, 橋本洋平, 小谷野智広, 細川晃, (株) 信光社 越智 雄三

要旨

サファイアは一般的に、ダイヤモンド工具を用いて加工されるが、高硬度材料であるため、工具の消耗や加工面で発生するマイクロクラックが課題として指摘されている。レーザを用いた熱応力割断は、これらの課題解決に有効である。この加工法を大口径サファイアの加工へ適用することを目的とし、割断面のき裂観察と加工時に得られた AE 波から、き裂進展プロセスを検討した結果を報告する。

1. 緒言

サファイアは優れた特性を多く有する硬脆材料であり、幅広い産業分野で利用されている。サファイアの加工は、一般的にダイヤモンド工具を用いて行われるが、高硬度材料であるために工具消耗、加工面で発生するマイクロクラックなどが課題として指摘されている。

昨今では、レーザを用いたサファイアの加工が急速に普及している。レーザ加工は、非接触加工に起因して切削工具が不要であること、複雑形状の加工が容易であること、レーザ種類によっては清浄な加工面が得られることなど多くの利点を有している。中でも、材料内部に生じる熱応力を有機的に用いたレーザ割断は、これらの利点に加えて切り代が不要となるため、従来加工と比較して加工歩留まりの改善や良好な分断面の形成が実現できるなど、硬脆材料の加工技術として期待されている手法である。そこで本研究では、レーザ割断を直径が 20 mm である大口径サファイアに適用し、その加工性やき裂進展挙動を詳細に調べたので、以下に報告する。

2. 実験材料及び実験方法

実験に用いた試料は、直径が 20 mm、長さが 150 mm である円筒状サファイアである。実験概略を Fig.1 に、実験条件を Table 1 に示す。実験では、波長が 10.6 μm である連続波の CO₂ レーザ(Universal Laser Systems: ULC-100)を用い、自動回転ステージに固定した試料の円筒面にレーザ照射し、ステージを回転することで送りを与えた。割断の起点となる溝は、UV レーザ(Advanced Opt Wave 製: AONANO 355-10-20)を用いて、幅が 50 μm 、深さが 150 μm となるように加工し、円筒の周方向全体に形成してき裂進展のガイドとした。また、き裂進展時に発生する弾性波を観測するため、試料の端面に AE センサ(株)富士セラミックス製: MSW)を貼付した。さらに、割断して得られた割断面を光学顕微鏡(KEYENCE 製: VHX-1000)で観察し、AE 波形と観察画像から円筒状サファイアのき裂進展挙動を詳細に検討した。

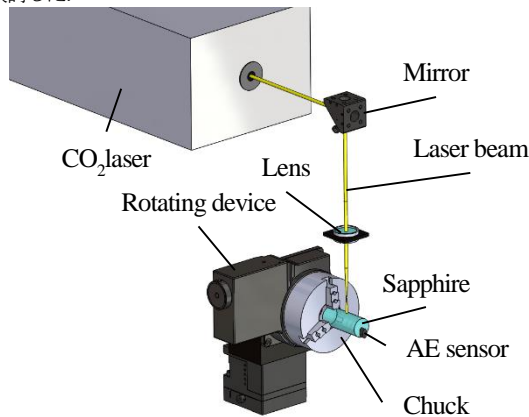


Fig.1 Experimental setup

Table 1 Experimental condition

Laser	CO ₂ laser		
Irradiation mode	Continuous wave		
Wave length	λ	μm	10.6
Laser power	Q	W	57 ~ 65
Feed rate	V	mm / s	2
Beam diameter	D	mm	2.8
Specimen	Round bar sapphire		
Size	mm	$\Phi 20 \times 150$	

3. 実験結果および考察

3.1 大口径サファイアのき裂進展プロセス

レーザ割断で得られた割断面の観察画像と、き裂の進展機序を模式的に表した結果を Fig.2 に、このとき得られた AE 波形を Fig.3 に示す。Fig.2, 3 中に示した①～⑥の表記は、それぞれの割断時間に対応している。

サファイアの円筒表面へレーザ照射すると、照射開始から 0.7 秒経過した後に図中①で示したき裂が観測された。そして、①で生じたき裂に沿うように②のような、き裂が進展した。このときの AE 波形は、間隔が長く出力が大きいことから、それぞれのき裂が大きく進展したと考えられる。その後、照射開始から 4.3 秒経過した位置では③のような、これまでに生じたき裂端に向かって進展する短いき裂や、そのき裂に沿って対面まで進展するき裂が観察された。この時点で、円筒サファイアの上半円部分が分断された。一方、6.3 秒経過した位置では④のような、これまでのき裂進展とは反対側に生じた円弧状のき裂が観察された。これは、大口径の円筒形状であるため、円筒形状の対面までき裂が到達するだけの十分な応力場が形成されなかったためと考えられる。このときの AE 波形の間隔は短く、出力も小さかった。その後、9.1 秒経過すると⑤のような、これまでに形成されたき裂端に沿うように大きく円弧状のき裂が形成され、照射開始から 120 度の位置まで照射したときに円筒サファイア全体が分断された。得られた割断面の表面うねりは 63 μm であり、円筒サファイアに対しても高精度にレーザ割断が可能であることがわかった。

4. 結言

本研究では、連続波の CO₂ レーザを用いて直径が 20 mm の円筒サファイアを割断し、そのき裂進展挙動を詳細に検討した。以下に得られた結果を示す。

- (1) 円筒部分に溝加工を施すことで、直径が 20 mm の円筒サファイアが割断できる。
- (2) 円筒サファイアは、円筒内部の位置や形成されたき裂端形状によってき裂の進展挙動が異なる。

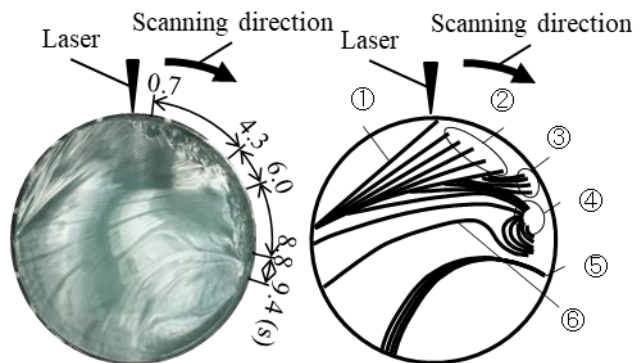


Fig.2 Cleaved surface Fig.3 Illustration of crack propagation

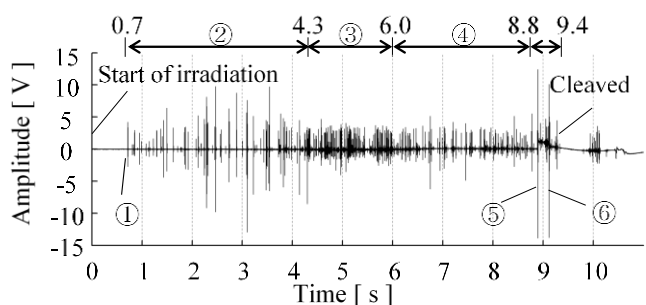


Fig.4 AE output waveform