

「ガラスミニチュアめねじの破壊強度測定」

芝浦工業大学 工学部 機械工学科 松尾繁樹

1. 研究概要

本研究室では、ガラス基板(スライドガラス)にミニチュアめねじを作製する研究をしています。ガラスは代表的な脆性材料であり、機械加工は困難です。ガラスの加工法の一つにレーザー加工があり、切断や貫通孔作製に利用されています。しかし、めねじのような、側面に凹凸を持つ構造を作製することは困難です。

そこで、「液中アブレーション」あるいは「液体支援レーザー加工」と呼ばれる手法を用いました。この手法では、被加工材料(固体)と液体とを接触させ、その界面付近にパルスレーザー光を集光照射します(図 1)。これにより、S0.5 めねじを作製することができました。[1]

しかし、作製しためねじを割断してその断面を見ると、図 2 のようにクラックが観測されました。これによりねじの強度が低下していることが予想されたため、ボルトを差し込んでそれを引張り、めねじ周辺が破壊されボルトが抜ける強度を調べました。加えて、熱処理による強度の改善を試みました。

2. 研究成果

作製した S0.5 めねじにボルト(市販品)を差し込み、そのボルトの頭部に作製していただいたフックをひっかけ、ボルトを引っ張ってガラス基板が破壊される強度を測定しました(図 3)。フックはロードセル eDPU-50N に取り付け、計測スタンド EMX-1000 N を用いて引き上げました(図 4)。引張速度は 10 mm/min としました。

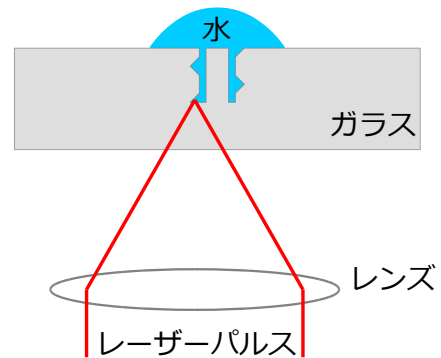


図 1 液中アブレーションによるめねじ加工の様子

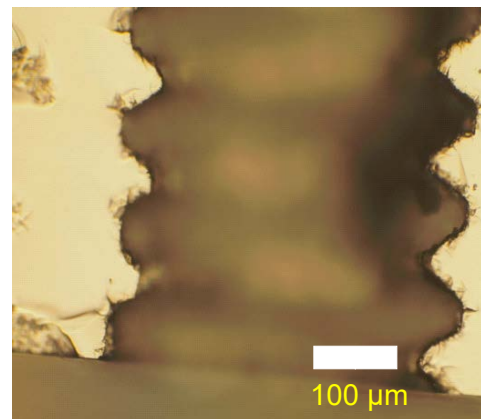


図 2 ガラス基板に作製しためねじの断面。

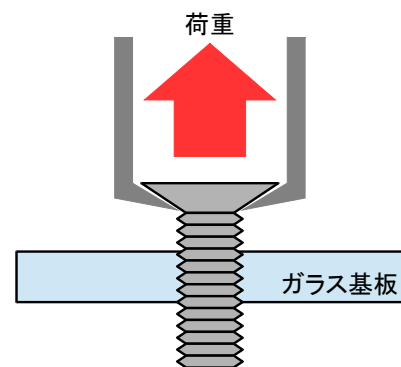


図 3 破壊強度の測定方法

測定結果の一例を図 5 に示します。これは、めねじを作製後に熱処理を施していない試料のデータで、3 回の試行を重ねて表示しています。グラフからわかるように、時間の経過とともに荷重が徐々に増加しある瞬間を期に荷重が急激に減少する様子が観察されました。ただし、最大値の前後にそれよりも小さな極大を迎える場合（赤線および緑線）も観察されました。これから、ある荷重がかかるとクラックが急激に成長し破壊が生じるが、場合によってはそれが全体破壊に至らず、引き続いて荷重を加えることにより全体破壊が生じるということが考えられます。3 回の試行での最大荷重の平均値は約 17 N となりました。

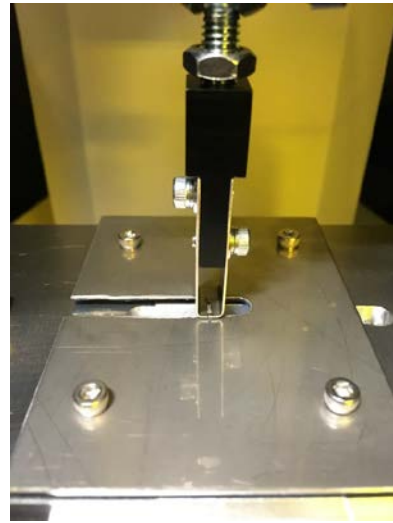


図 4 破壊強度の測定の様子

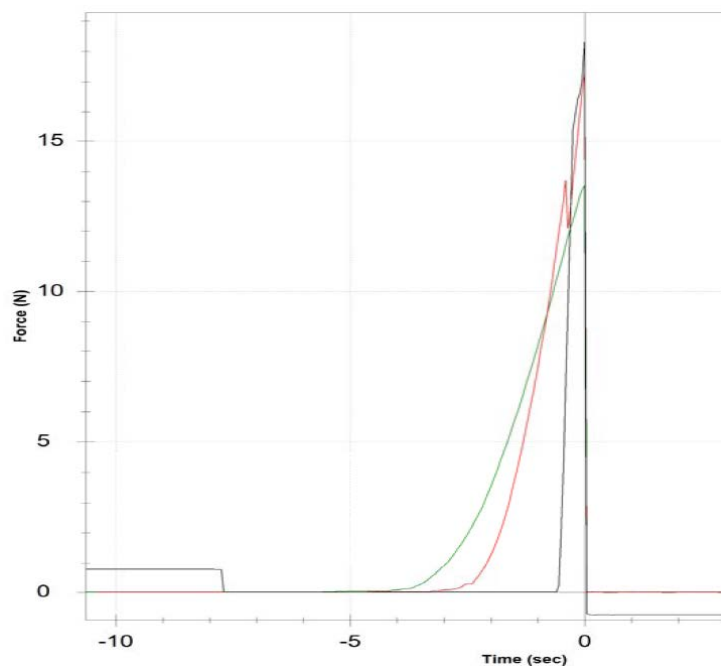


図 5 引張によるネジの破壊実験の結果の例(熱処理を施していない試料)

熱処理を施した試料についても、同様に測定を行いました。熱処理は、空気雰囲気中の電気炉中で 570°C および 620°C まで加熱し、約 30 分間保持しました。なお、630°C で熱処理したところ、ねじ山が変形つぶれてしまったので、620°C はほぼ上限の温度と思われます。熱処理後の測定の結果、570°C では強度はほとんど変わりませんが、620°C での熱処理では最大荷重の平均値が約 27 N となり、向上が見られました。また、割断面を見てもクラックの減少が観察されました。しかし、簡単なモデルを立てて

計算すると、27 N という値は破壊の際の引張り応力として 1.3 MPa 程度と見積もられ [2], ガラスの一般的な強度である 50~100 MPa に比べ桁以上小さいので、まだ向上の余地があると思われます。

3. 計測スタンドの導入による進歩

本研究では、破壊するための荷重の印加に株式会社イマダの計測スタンド EMX-1000N を用いました。従来は、水を入れたバケツをぶら下げるといった原始的な手法(図 6)で荷重を印加しており、いろいろと面倒でした。本装置に導入により、荷重を連続的かつ安定に変化させることができるようになりました。加えて、段階的に破壊が起こるといった現象は予想していなかったもので、本装置を使用することにより初めて見つけることができました。

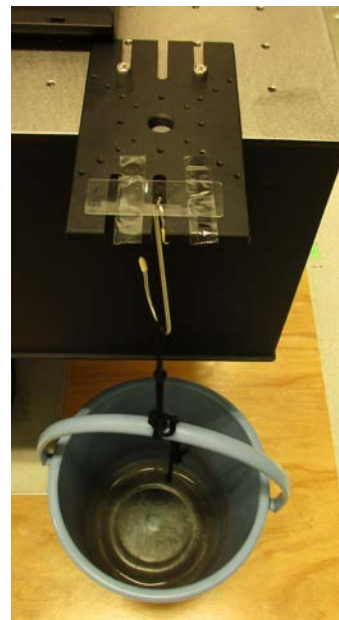


図 6 従来の荷重印加方法

4. 今後の展開

現在は、加工後の熱処理によりクラックを減らすのではなく、そもそもクラックが発生しないような新たな加工方法の開発に取り組んでいます。これはまだ実現に至っていませんが、実現したら強度測定を行いたいと思っています。

5. 謝辞

本研究を遂行するにあたり、計測スタンド・フォースゲージ・ロードセル等をご提供いただいた株式会社イマダ様に感謝申し上げます。

本研究には歴代の多くの学生が貢献しています。本報告書に記載した研究成果は主に八重柏良介氏によるものです。記して感謝いたします。

参考文献

- [1] H. Degawa, N. Urano, and S. Matsuo, “Laser Fabrication of Miniature Internal Thread in Glass Substrate,” *Micromachines*, vol. 8, no. 2, p. 48, Feb. 2017, doi: 10.3390/mi8020048.
- [2] R. Murakami, H. Nakagawa, and S. Matsuo, “Water-Assisted Laser Drilling for Miniature Internal Thread in Glass and Evaluation of its Strength,” *J. Laser Micro Nanoeng.*, vol. 12, no. 3, pp. 203–206, 2017, doi: 10.2961/jlmn.2017.03.0005.