

樹脂材料における小径深穴加工時のライフリグ発生メカニズムの解明

(地独)鳥取県産業技術センター ○佐藤崇弘, 内外精機工業㈱ 長谷川伸一, 中村誠

Elucidation of generation mechanism of rifling in small-diameter deep hole drilling process by resin material
Tottori Institute of Industrial Technology, Takahiro SATO, Naigai Seiki Kougyo CO., LTD., Shinichi HASEGAWA and Makoto NAKAMURA

Recently, the requirement for high quality hole machining is increasing, such as a nozzle for chemical-analysis machines, and a medical instrument. However because the stiffness of the drill for the small-diameter and deep hole is low, the hole is easily to generate rifling. As a result, the hole wall roughness is easy to be worse. In the present paper, the effects of cutting force and cutting temperature on the rifling were investigated by experiments.

1. 緒言

近年医療機器や化学分析機器に用いられる各種樹脂製ノズル製品は、滴下精度の向上や分析精度の向上が求められている。その結果、ノズル穴の小径化・高品質化に加え深穴加工が要求されている。しかし、樹脂材料の小径深穴加工は、大径工具と比較して工具剛性が低下するため、切りくず排出不良や切削温度の局所の上昇に伴う穴壁面品質悪化が課題である。特にL/D=50以上の深穴になると、加工後期において穴壁面にスパイラル上の傷、いわゆるライフリグが発生し、穴壁面品質が悪化する。

そのような中ドリル加工は、従来からさまざまな研究が行われている。その中で一般的にドリル加工初期に発生するライフリグについては、被削材を金属材料とした数多くの研究が報告されている¹⁾²⁾。これらの研究では、工具剛性の低いドリルで加工すると切削負荷により回転方向の位相遅れが生じ、さらに切削力の変化などに起因する自励振動により右ねじれのライフリグが発生すると説明されている。被削材が樹脂の場合であってもライフリグの発生要因は基本的に同様であると考えられるが、本研究では樹脂特有の現象を観察し、その発生要因を明らかにした。

2. ライフリグの発生した穴壁面形状

表1に示す切削条件で表2に示す工具と被削材により穴加工実験を行った。なお、穴深さは70mm (L/D=100)とし、エタノールを滴下しながらマシニングセンター(安田工業㈱製: YBM640V)を使って加工試験を行った。

ライフリグが発生した穴内観察のため、穴中心で輪切りにし、穴断面を観察した。結果を図1に示す。なお、ドリルは図の左から右方向に加工したため、図1(a)が穴上部の拡大図であり、図1(b)が穴底部の拡大図である。図より、穴上部では

表1 切削条件

回転数	2500min ⁻¹
送り速度	10mm/min
ステップ量	0.1mm

表2 被削材と工具の諸元

被削材	サイズ	X20mm, Y10mm, Z90mm
	材質	透明アクリル樹脂
ドリル	形状	先端角 120°, 芯厚 0.3mm 逃げ角 12°, ねじれ角 30° 刃長 15mm, 工具長 100mm 工具径 0.7mm
	材質	超硬合金

きれいな半円筒状の穴断面となっているが、穴底部では穴形状が進行方向に蛇行しており、併せて穴壁面にスパイラル状の傷、いわゆるライフリグマークが観察される。そこで、穴断面形状をレーザ顕微鏡(㈱キーエンス製: VK9500)により計測した。結果を図2に示す。なお、測定箇所は図1(b)の穴底部であり、高低差をカラーマップで示した。図より、ライフリグマークを境目に穴がスパイラル状に蛇行していることがわかる。

3. ライフリグ発生時の加工挙動

3.1 加工中におけるトルク

被削材をトルクセンサ(日本キスラー(株)製: リアクショントルクセンサ 9329A)に固定し、CCDカメラで加工現象を観察しながら、通常加工時とライフリグ発生時のトルクを比較測定した。トルクと加工時間の関係を図3に示す。図より、通常加工時は平均的に0.5N・mmであるのに対し、ライフリグ発生時は平均的に1.2N・mmでかつ加工初期と加工後期のみ6N・mm程度の突発的なトルクの上昇が見られる。

また、通常加工からライフリグ発生まで連続してトルクを計測した。結果を図4に示す。図より、40秒前後から突発的なトルクの上昇が見られる。また、CCDカメラで観察しながらトルク計測をしたところライフリグの発生と突発的なトルクの上昇は同じタイミングであることが確認できた。

3.2 加工中におけるドリル周辺の温度分布

ドリル加工中に発生する温度をリアルタイムに計測する手法はいくつか報告されているが、そのほとんどが熱電対、または光ファイバ式放射温度計によるポイント計測³⁾であり、ドリル周辺の温度分布を測定したデータは見受けられない。加

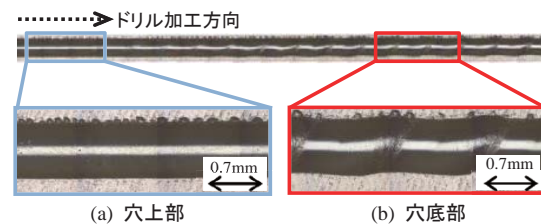


図1 穴加工後の穴壁面状態

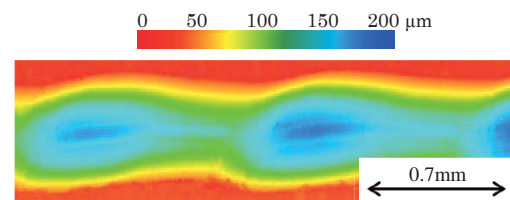


図2 ライフリグ発生個所の穴壁面形状

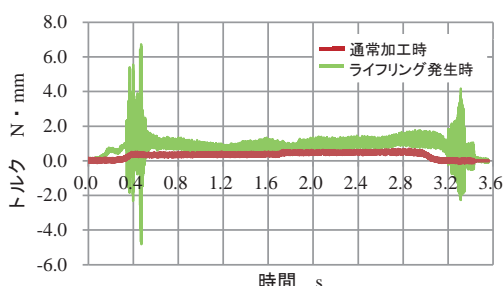


図3 ライフリング有無とトルクの関係

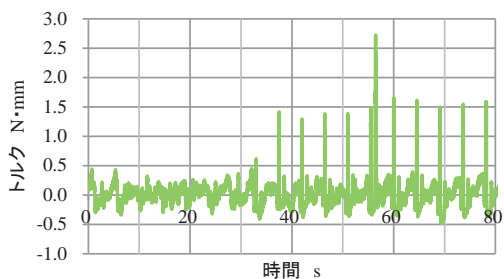


図4 連続ステップ加工中のトルク

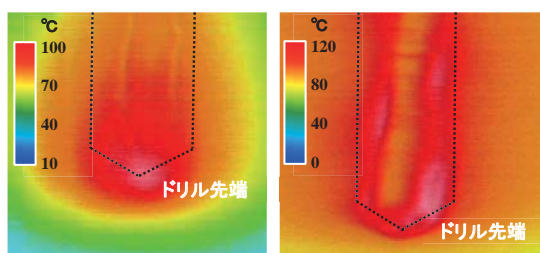


図5 ドリル加工中の切れ刃周辺の温度分布

工中の穴内における温度分布をサーモグラフィで測定するには、被削材が赤外線透過する必要がある。

そのような中近年、赤外光と可視光を透過するポリオレフィン樹脂（旭化成エンジニアリング(株)製：GAT-10）が開発された⁴⁾。そこで、通常加工時とライフリング発生時の穴内における加工中の温度分布を赤外線サーモグラフィ（日本アビオニクス(株)製：TVS-700）で計測した。加工中の温度分布を図5に示す。なお、ポリオレフィン樹脂でもアクリル樹脂同様、ライフリングの発生が加工後期において確認された。図5(a)の通常加工時はドリル先端が最も温度が高く、図5(b)のライフリング発生時はドリル先端も温度が高いがドリルシュルダ部からフルートにかけて温度が高いことがわかる。また、穴の左右で比較すると右側の温度が高く、左側の温度が低い。動画で撮影を行うと、ライフリングのスパイラルの周期と同程度の時間間隔で温度の高い部分が左右に蛇行する様子が確認された。

3.3 ドリル先端の加工挙動

通常加工時とライフリング発生時のドリル先端付近の加工現象を高速カメラにより観察した。観察方向は、ドリル側面方向とドリル正面方向（ドリル先端を見上げる方向）の2方向とした。観察した結果、どちらの加工現象とも2枚の切れ刃の内、片方の切れ刃のみで切削が行われていた。セッティングやドリルの形状誤差もあるため、10回の実験を行ったがすべて片刃のみの加工となっていた。そこで、両刃および

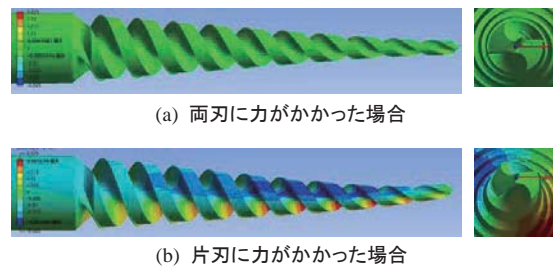


図6 切れ刃に力がかかった場合のドリル先端変位

片刃のみにトルクが負荷された場合のドリル全体の挙動をシミュレーションソフト（ANSYS, Inc製：ANSYS Mechanical）により調べた。結果を図6に示す。なお、図中の変形は10倍の誇張表示となっている。図6(a)より、両刃に均等にトルクが負荷されるとドリルの半径方向には変形しない。しかし、図6(b)より、片刃のみにトルクが負荷されるとドリル先端が曲がることわかる。

4. 考察

上述した試験結果から、樹脂加工時にライフリングが発生する場合、片刃のみで切削を行っており、穴が深くなると突発的なトルクが発生する。それに伴い、回転方向の位相遅れとドリルの曲がりが発生することで穴が蛇行するものと考えられる。また、穴の蛇行に伴いドリルフルート部に衝突することでドリルフルート部の切削温度が上昇するものと考えられる。

5. 結言

本研究では、樹脂加工時に発生するライフリングについて、切削抵抗、切削温度、切削現象について調べた。その結果、以下の結論を得た。

- 1) ライフリングが発生した穴は、ライフリングマークと同じ周期で穴形状が蛇行する。
- 2) ライフリング発生時は、突発的なトルク上昇が発生し、その結果ドリルが曲がる。
- 3) 通常加工時はドリル先端付近の切削温度が上昇しやすく、ライフリング発生時はドリル先端とドリルフルート部の切削温度が上昇しやすい。

参考文献

- 1) 鬼鞍宏猷, 佐久間敬三, 松崎敏彦, 甲木昭雄: ドリルの振動の解析 - 下穴のある場合 -, 精密工学会誌, **52**,4(1986) 661.
- 2) K. Matsuzaki, T. Ryu, A. Sueoka, K. Tsukamoto: Theoretical and experimental study on rifling mark generating phenomena in BTA deep hole drilling process (generating mechanism and countermeasure), **88**, (2015) 194.
- 3) 佐藤昌彦, 田中久隆, 武田諭司: 光ファイバ連結放射温度計によるドリル加工時の穴加工面温度測定, **77**,782(2011) 3562.
- 4) 長谷川彰, 米澤和宏: 赤外線透過する絶縁保護カバー GATの開発(GAT; Gear of Advance IR Transparent Plate), 電気評論, **99**,5(2014) 70.