

切削加工におけるナノバブル活用効果の評価手法検討

荻野直彦・新井宏章*・青柳大志・鏑木哲志*

Examination of evaluation method for the effect of utilizing
nanobubbles in machining

Naohiko OGINO, Hiroaki Arai, Hiroshi Aoyagi, Tetushi Kaburagi

近年の高付加価値材料の切削加工では仕上げ面粗さだけでなく仕上げ面内部物性への影響を考慮した加工が求められており、切削温度の制御・抑制技術は重要である。本研究ではナノバブルを含む切削液の切削温度抑制の可能性を調べるため、ナノバブル含有切削液を用いた機械構造用炭素鋼のドリル穴あけを行った。ここでは温度効果を評価するためドリル中心軸に K 型熱電対を挿入する手法により工具温度の計測を試みた。定常切削過程では切削液の侵入性が悪く温度抑制効果が見られないが、初期のドリル侵入過程ではナノバブル含有切削液の温度低減が確認された。

キーワード：ナノバブル，切削加工，ドリル，工具温度

In recent years, cutting of high value-added materials requires not only the roughness of the finished surface but also the influence on the internal physical properties of the finished surface, and the technology for controlling and suppressing the cutting temperature is important. In this study, in order to investigate the possibility of suppressing the cutting temperature of the cutting fluid containing nanobubbles, we drilled holes in carbon steel for machine structure using the cutting fluid containing nanobubbles. Here, in order to evaluate the temperature effect, we attempted to measure the tool temperature by inserting a K-type thermocouple into the central axis of the drill. In the steady cutting process, the infiltration of the cutting fluid was poor and the temperature suppression effect was not seen, but in the initial drill intrusion process, the temperature of the cutting fluid containing nanobubbles was confirmed to decrease.

KEY WORD: Nano bubbles, Cutting, Drill, tool temperature

1 はじめに

ナノバブル・マイクロバブルは、医学分野、農学分野への応用が普及している。工学分野においても生産性向上、品質向上等を目的として、多くの分野での利用が始まっており、その可能性に期待が高まっている。¹⁾²⁾³⁾除去加工分野についても、液量の低減、加工品質の向上、および工具寿命の増大を目的として、効果検証が活発に行われている。研削加工では、マイクロバブル

・ナノバブルともに加工性能を改善できる結果が報告されている。⁴⁾しかしながら、同じ除去加工に分類される切削加工では、効果に対する検証が十分ではなく、評価手法についても基礎検討がされているものの、民間企業において利用が促進するほどの検証結果は得られていない。評価方法について、マシニングなどの工具が回転する加工方法では、加工状態を計測する手法に限られているため、工具摩耗量などの結果系からのアプローチが多い。工具摩耗量の

評価では、切削液内にマイクロバブルを混入させ、工具摩耗状態の観察を行い、加工条件によっては工具摩耗量に若干の差があることが報告されている。⁵⁾加工中の工具状態を評価できる手法により、ナノバブル・マイクロバブルの活用効果について検証できる可能性がある。

そこで本研究では、切削液中に存在するナノバブルの持つ効果について解明することを目的として、加工中の工具先端付近の温度を計測する手法について評価検討を行った。

2. 実験

2. 1 ナノバブル

産総研の資料⁶⁾によると、マイクロバブルは、次のようにされている。

「空気を多気孔体から排出するとき生ずる気泡などは、気泡径が大きく、水中に供給しても極めて短時間に消滅するのに対し、マイクロバブルは、上昇速度が遅く広大な比表面積を持つため、水中で溶解しながら縮小して、最終的に消滅する(図1)。マイクロバブルは、電荷を帯びており、通常マイクロバブルは表面電位として-30~-50mVに帯電している。また、表面張力の作用による自己加圧効果がある。この圧力の上昇は気泡径に半比例するため、気泡の縮小と共に内部圧力が上昇して、ナノレベルに至った段階では数十気圧以上に加圧されている。」
通常が目視することのできる大きな泡とは異なった性質を持つことが分かっている。

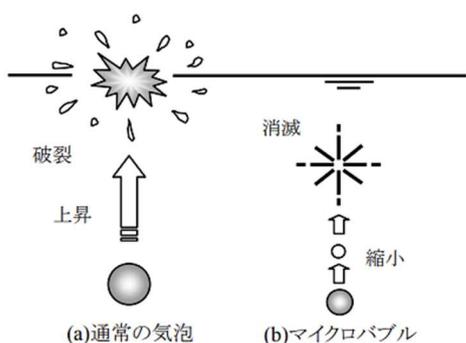


図1 通常の気泡とマイクロバブルの比較⁶⁾

2. 1 切削工具 (ドリル)

本実験にて温度測定するドリルの形状を図2に示す。概略寸法は直径10.0mm×全長93.0mmのハイス製一般加工用ストレートドリルである。先端はX形シニング加工である。

ドリル内の温度測定は、切削加工時の熱と振動を同時に計測できる測定機(株山本金属製作所 MULTI INTELLIGENCE[®]) (以下工具温度測定機)を用いた。熱電対の設置位置を図3に示す。ドリルは突き出し長さ55mmにてコレットチャックし、 $\Phi 0.5\text{mm}$ の熱電対を工具先端から2mmの距離に設置した。

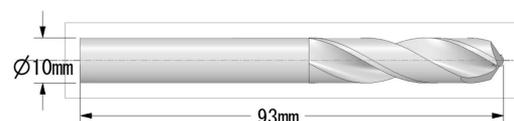


図2 Cutting tool

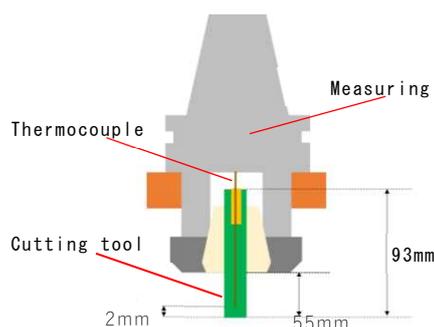


図3 Thermocouple installation

2. 2 実験装置

実験に使用した装置を表1に示す。

表1 Experimental device

機器	仕様
マシニングセンタ	オークマ ACE CENTER MB-46VA
ナノバブル発生器	橋本テクニカル工業 異次元くん 平均径 36.8nm

2. 3 実験ワーク (被削材)

実験で使用したワークは、S50C材を使用した。外観を図4に示す。ワークはバスタブ型に加工し、加工部分が常に切削液に浸っている状態とした。

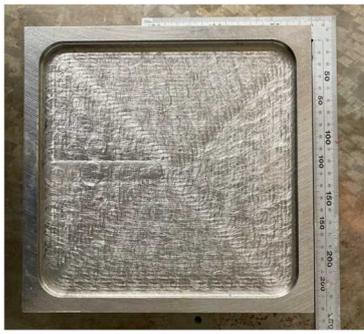


図 4 Work

2. 4 実験条件

実験条件を表 2 に示す。

表 2 Experimental conditions

回転数	1432 [rpm]
送り速度	430 [mm/min]
切削速度	45 [m/min]
深さ	5 [mm]
切削液供給	外部供給
穴あけ数	6 回

3. 結果および考察

3. 1 工具温度計測結果

実験結果を図 5 に示す。

実験結果は、合計 6 回の各加工時点での最高温度と変化点における平均値、最大値、最小値をまとめている。

最高温度は、各回数の加工時における最大温度である。変化点は、刃先がワークに侵入する時点の挙動の変化により、温度勾配に変化が生じる時点である（図 5 下図）。

最高温度を比較すると平均温度がおよそ 3℃バブル有りの加工が高かった。一方、変化点での温度を比較してみると 3℃バブル有りでの加工の方が低かった。ドリル侵入時においては、マイクロバブルの効果により、温度低減が図られていた。ドリル侵入時における変化点の前後の違いは、変化点前までは切削液が外部から効率よく供給されている。一方、変化点以降では工具刃先先端部分はワーク内に入り込んでしまうため、切削液の外部給油量が減少する。このことから、バブル有りの場合、工具先端がワーク内に入り込むまでの切削液による冷却が十分にされている間は、ナノバブルによる温度低減効果がある可能性がある。

工具内の温度計測箇所は、刃先先端から 2mm 程度離れているため、実際の刃先温度は 10℃以上差があると推定され⁷⁾、ナノバブルの冷却効果が生じている可能性がある。

本実験では、実験条件、ワークは一条件であったため、今後、難切削材などのより刃先の摩耗が激しい材料などで比較検討することが望まれる。

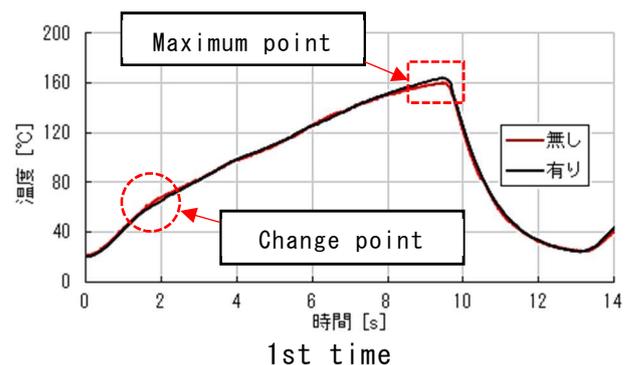
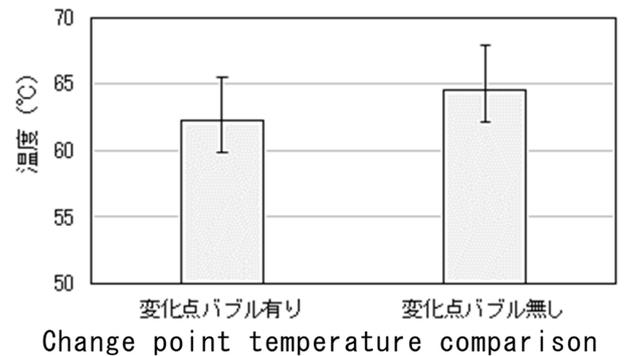
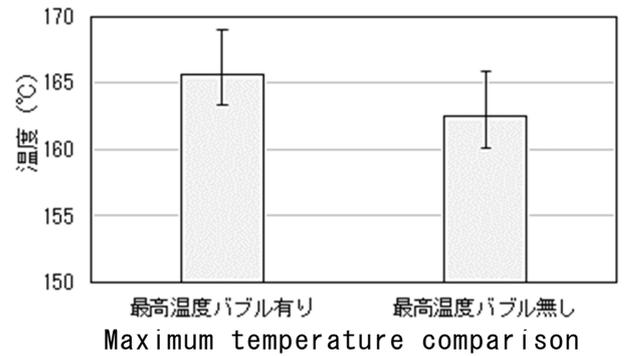


図 5 Experimental result

4. まとめ

本研究では、切削液中に存在するナノバブルの持つ効果について解明することを目的として、加工中の工具先端付近の温度を

計測する手法について評価検討を行った。
その結果、以下の知見が得られた。

- (1) ナノバブルの有無により、最大温度に差はみられない。
- (2) 一方、刃先先端がワークに侵入する変化点までは、ナノバブルの効果により温度上昇が緩和されている。

文献

- 1) 白井泰雪, 精密工学会誌, 83, 7, 623-626 (2017)
- 2) 鈴木清ほか, 2004 年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集, 241
- 3) 高田亮ほか, 2019 年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, 38-39
- 4) 岩井学ほか, 2017 年精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 111-112
- 5) 岩井学ほか, 2018 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集, 281-282
- 6) 産業技術総合研究所ホームページ, <http://www.aist.go.jp>
- 7) 荻野直彦ほか, 2022 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集