

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：82670

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04717

研究課題名（和文）微小気泡添加クーラントを用いた工具刃先冷却方法に関する研究

研究課題名（英文）Study on cooling method of tool cutting edge using coolant containing fine bubbles

研究代表者

國枝 泰博（Yasuhiro, KUNIEDA）

地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・研究開発本部機能化学材料技術部プロセス技術グループ・研究員

研究者番号：80746206

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、切削用クーラントの熱伝達率がクーラントの種類や微小気泡の濃度により変化することを明らかにし、クーラントの熱伝達率すなわち冷却能力を向上させることを目的としている。本研究では、熱流束測定装置を構築し、構築した測定装置により、各種クーラントおよび微小気泡を添加したクーラントの熱流束測定実験を行い微小気泡が熱伝達に与える影響を検討した。また、クーラントを供給するノズル径を変化させ微小気泡が作用する条件を検討した。得られた結果から切削用クーラントに微小気泡の効果を作用させる条件が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

各種クーラントおよびクーラント供給ノズルお熱流束測定結果から工具を効果的に冷却するには流速が重要になることが示唆された。この結果は、機械加工におけるクーラントの新たな適用方法を考える上で参考になると考えられる。また、本研究を通じて微小気泡が機械加工のクーラントとして万能ではないことが示唆されたことは意義深いと考えられる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this research is to clarify that the heat transfer coefficient of cutting coolant which changes the type of coolant and concentration of ultra-fine bubbles, and to improve the heat transfer coefficient of the coolant. In this study, we constructed a heat flux measurement device. Using the constructed measurement device, we conducted experiments to measure the heat flux of various type of coolants and coolants with ultra-fine bubbles, and investigated the effects of ultra-fine bubbles on heat transfer. We also investigated the conditions under which ultra-fine bubbles effects by changing the diameter of the nozzle that supplies the coolant. We also investigated the effects obtained by changing the diameter of the nozzle that supplies the coolant containing ultra-fine bubbles. The obtained results suggested the conditions under which ultra-fine bubbles influence coolant.

研究分野：精密加工

キーワード：微小気泡 クーラント 熱伝達 熱流束 切削性 タッピングトルク試験

1. 研究開始当初の背景

難削材の高速切削加工の実用化が切望されている。難削材を切削加工すると、被削材の熱伝導率が低いために刃先温度が上昇してしまい工具寿命が低下する問題がある。この問題は、加工時の冷却効率を向上させることで改善することが知られており、液体窒素に代表される低温冷却剤を用いた冷却する方法、高圧クーラントを用いる方法、逃げ面からクーラントを供給し冷却する方法などの研究が報告されている¹⁾。しかし、いずれの方法も課題を抱えており、難削材の高速切削加工の実用化のためにはさらなるブレークスルーが必要である。

本研究では、加工時の工具冷却手段として切削加工用のクーラントに微小気泡であるファインバブル (FB)・ウルトラファインバブル (UFB) を添加することに注目した。微小気泡は、熱伝達率の向上・洗浄効果・抵抗低減などの様々な機能が発揮されることが報告されている²⁾。それらの機能の中で特に熱伝達率の向上効果を切削用クーラントに付加できれば、加工中の工具刃先温度低減に有効であると考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、クーラント種類や添加する微小気泡の濃度変化によって変化するクーラント熱伝達率 (熱流束) を明らかにしクーラントの熱伝達率を向上させる条件を得ることおよび得られた知見を基に工具刃先冷却を促進させる方法を検討することである。

3. 研究の方法

(1) クーラントの熱流束測定装置の構築

微小気泡を添加したクーラントの熱伝達率 (熱流束から計算する) を把握するために図1に示す熱流束測定装置を構築した。構築した測定装置は、ヒータブロック部を介して加熱した熱流束計の上面にクーラントの噴流を供給し冷却する構造とした。加熱された熱流束計の上面を冷却すると熱流束計下部から上部にかけて熱流が移動するとそれに応じた電圧が熱流束計より出力される。それをデータロガーにて記録した。ヒータブロック部はアルミニウムブロックを断熱材で囲み下部からヒータで加熱する方式とした。構築した測定装置を用いて各種クーラントの熱流束を測定し測定装置の妥当性を検証した。

(2) 微小気泡添加クーラントの熱伝達率の解明

水および各種クーラントを用いて、添加する微小気体の濃度を变化させ、構築した熱流束計を用いて熱流束測定を実施した。得られた測定値より微小気泡の熱伝達が向上するクーラント剤種および微小気泡の濃度を検討した。なお、噴流供給装置はタンクに貯めたクーラントをバルブで開放し、重力によって自由落下させ噴流とする方式にした。これはポンプ等で噴流を発生させるとポンプを駆動する際に発生する気泡や脈動が測定に悪影響を及ぼす可能性があると考えたためである。

(3) クーラントノズルの検討

噴流の流量 (0.6 l/min) を同じにして、径 ($\phi 2, 3, 3.6$ mm) の異なるノズルから噴流を供給し、構築した熱流束計にて熱流束測定を実施した。ノズルには、噴流が拡散することなく直進するストレートタイプのものを用いた。ノズルから供給する流量を一定としてノズル径を変えることで、流量が同じ条件すなわち供給する冷却剤の量が同一であることから流速の違いによる各種クーラントの冷却効果の検討を行った。

(4) 微小気泡添加クーラントが加工性に与える影響

タッピングトルク試験にて切削性を評価した。タッピングトルク試験は、加工用クーラントの評価方法として知られている。しかし、一般的な評価基準が存在しないことから評価方法の検討も実施した。確立した評価方法を基に各種クーラントおよび添加する微小気泡濃度を変えた際の加工性を評価した。

4. 研究成果

(1) クーラントの熱流束測定装置の構築

図1の熱流束測定装置を構築し、各種クーラントおよび水の熱流束測定を行った。

熱流束計を 430 °C にヒータブロック部を通じて加熱し、温度分布が飽和状態になった状態でヒータ電源を切り噴流を熱流束計上面に供給した。時間経過と共にセンサ上面の温度が下がり各温度での熱流束を評価した。水、ソリュション、エマルジョンのクーラントに対し測定実験を行った。図2にその結果を示す。同図より一般的に言われているエマルジョン、ソリュション、水の順に熱流束が良くなる結果すなわち熱伝達率が良くなる結果が得られた。このことから構築した熱流束測定装置が妥当であることを確認した。

また、水の熱流束は熱流束計の表面温度が 140 °C 近傍で急激に熱流束が上昇する。一方でクー

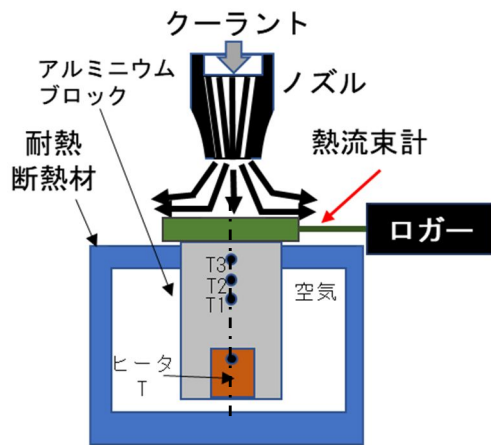


図1 熱流束測定装置概要図

ラント油剤を水に混ぜるとこの現象がなくなり、水特有の冷却特性がなくなることがわかった。

(2) 微小気泡添加クーラントの熱伝達率の解明

水、ソリューション、エマルションのクーラントに微小気泡を入れた時の熱伝達特性を検討した。微小気泡の量は、保有する微小気泡発生装置で最大限微小気泡を発生させることのできる量を100%とした。微小気泡を添加したクーラントは、微小気泡の濃度を調整した水にクーラント油剤を投入し製作した。図3に各種クーラントで熱流束特性を測定した結果を示す。噴流にはφ2のストレートノズルから流量0.6 l/minで供給したものをを用いた。同図(a)に示す水の熱伝達率は微小気泡の濃度によっては、熱流束が微小気泡なしの時と比較して向上する場合がある。一方で、クーラント油剤を投入すると熱流束が微小気泡を入れると悪くなることがわかった。

(3) クーラントノズルの検討

図4に噴流を供給するノズル径を変えたときの熱流束の変化を示す。噴流には水を用いた。各種ノズルで供給する流量は0.6 l/minとしたため、流速はφ2で191 m/min、φ3で85 m/min、φ3.6で59 m/minとなる。同図よりノズル直径が小さくなるほどいづれの温度域においても熱流束が大きくなっていることから噴流の流速が速くなると熱流束が大きくなることがわかる。

また、図5に水に微小気泡を添加した時の影響を示す。なお、ノズル径がφ2のときの結果は図3(a)である。図3(a)と図5を比較すると図3(a)のノズル径がφ2で流速が速いときは微小気泡を添加することにより熱流束に与える影響が大きいことがわかる。また、図5のφ3およびφ3.6の流速が遅いときは微小気泡の添加量を変化させても熱流束に与える影響は少なかった。よって、微小気泡の効果を得るためには流速が速いことが必要であることが示唆された。

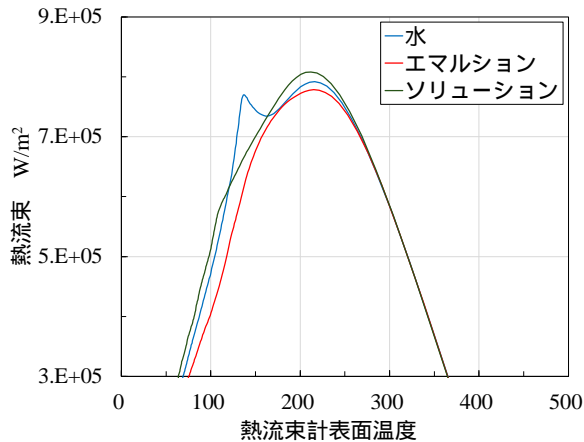
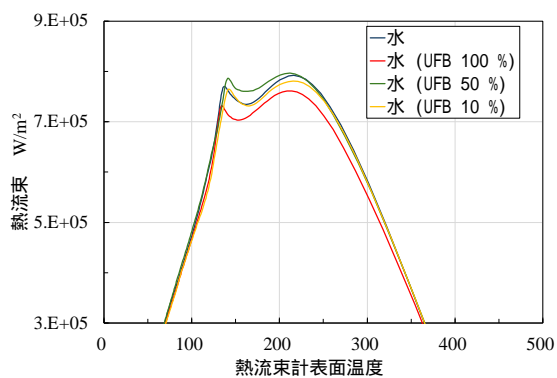
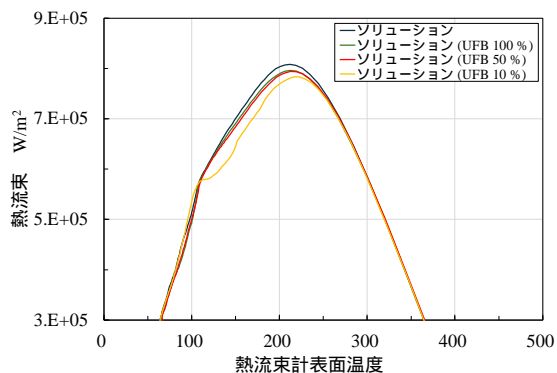


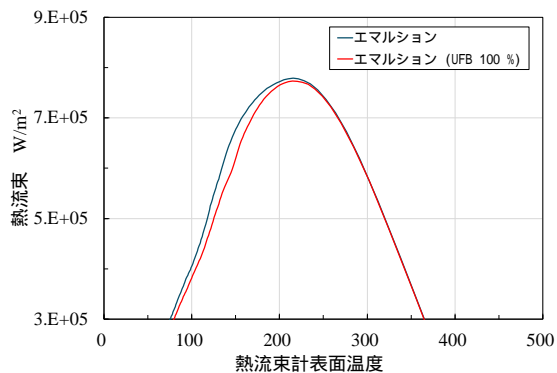
図2 各種クーラントの熱流束測定結果



(a) 水



(b) ソリューション



(c) エマルション

図3 各種クーラントの熱流束特性 (微小気泡含)

(4) 微小気泡添加クーラントが加工性に与える影響

図6に各種クーラントに対しタッピングトルク試験を行い、切削性を評価した結果を示す。被削材はS45Cとし、M10のスパイラルタップを用いて12.6 m/minで各種クーラントを供給した状態で加工した。同図はタッピング時に定常状態となるトルクを平均し、平均加工トルクとして評価した。また、得られたトルク波形から加工に必要な加工エネルギーを算出し評価した。クーラントには、エマルジョンとソリュションを用いた。また、各種クーラントに微小気泡を濃度調整し添加した。同図よりエマルジョンの場合は、微小気泡を添加すると切削性が悪くなるのがわかった。一方で、ソリュションの場合は高濃度で微小気泡を添加すると切削性が悪くなるが、低濃度であれば添加しない場合と切削性が同等であることがわかった。

(5) 得られた成果と課題展望

本研究では、流速を速くすることがクーラントの冷却効率を高め、微小気泡クーラントの効果を高める可能性を示唆した。

従来型の外部からの一般的なクーラントノズルによってクーラントを供給する方法から工作機械スピンドル内部から高圧でクーラントを供給し、スリットの入ったコレットなどから高速流で工具刃先にクーラントを供給する手法が有効になるのではないかと考えられる。ただし、クーラントを高圧化すると添加する微小気泡の挙動がわからないこと、高圧化したクーラントを噴出させる際に発生する大きな気泡が熱伝達を阻害する可能性があるなどの課題があると考えられる。また、クーラントをミスト化し、エアの高速噴流によってクーラントの流速を高速化することも冷却効果を高めかつ微小気泡の効果を高めるには有効ではないかと考えられる。

参考文献

- 1) 帯川利之他：生産研究，67，6(2015)，607.
- 2) 柳瀬眞一郎他：日本流体力学会誌，34，5(2015)，355.

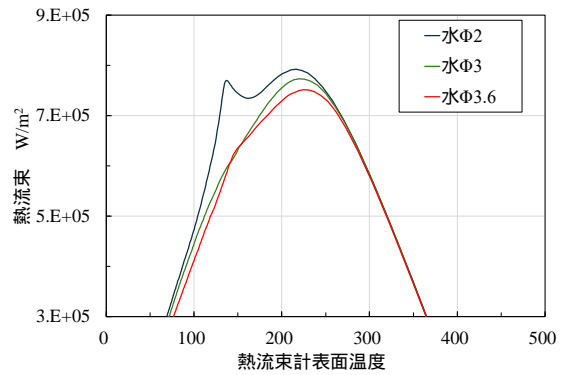
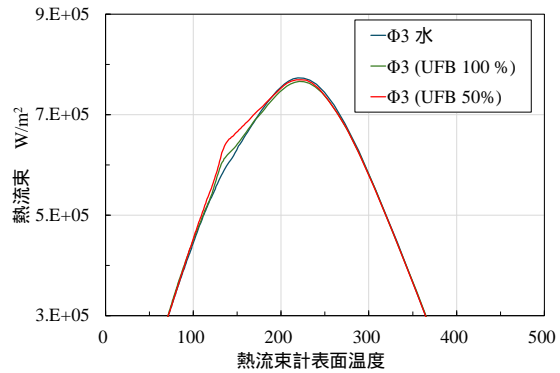
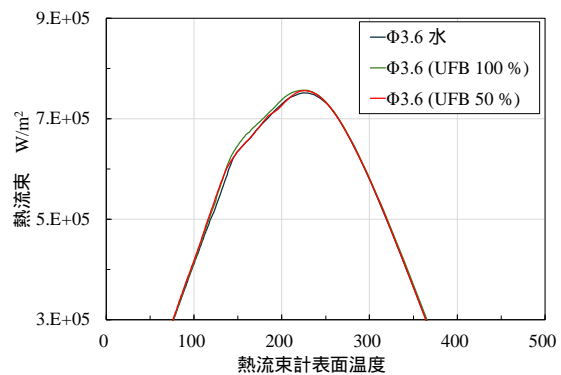


図4 ノズル径が熱流束に及ぼす影響



(a) φ3



(b) φ3.6

図5 微小気泡添加とノズル径の関係

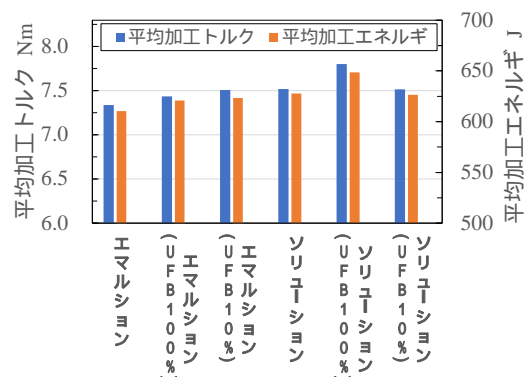


図6 各種クーラントの切削性評価

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yasuhiro KUNIEDA, Kenta NAKAMURA, Keita SHIMADA, Masayoshi MIZUTANI, Tsunemoto KURIYAGAWA
2. 発表標題 Effect of Bubble Concentration Added to Coolant on Cutting
3. 学会等名 ISMNM2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 國枝泰博, 中村健太
2. 発表標題 再生基油を用いた切削油剤の切削性能評価
3. 学会等名 2023年度砥粒加工学会学術講演会
4. 発表年 2023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
---------	---------