

月刊 THE TRIBOLOGY

トライボロジー

2023
No.427

3

MOTION & CONTROL™

NSK



工作機械主軸用 高負荷容量・超高速アングュラ玉軸受
「ロバストダイナ™(ROBUSTDYNA™)シリーズ」タイプ

日本精工

特集

切削、研削、塑性加工技術

切削・研削加工における 高圧クーラント供給技術



和田任弘*
Tadahiro WADA

大阪産業大学 工学部 機械工学科 特任教授

森合勇介
Yusuke MORIGO

㈱トクビ製作所 製造部

1. はじめに

切りくずの形態は、流れ形切りくず、せん断形切りくず、むしろ形切りくず、およびき裂形切りくずの4種類^{※1}に分けることができる。これら4種類の切りくず形態は、工作物の材質、切削条件、工具形状などによって変化する。延性材料の切削では流れ形切りくずやせん断形切りくずになりやすく、脆性材料の切削ではき裂形切りくずになりやすい。さらに、延性材料の切削では、すくい角を大きくする、切削速度を高くする、切込みを小さくすると流れ形切りくずになりやすい。流れ形切りくずが生成されると、切削抵抗の変動が小さくなり、良好な仕上げ面を得ることができるので、望ましい切りくず形態と言える。

さて、流れ形切りくずが生成される切削状態は望ましいといえるが、連続した切りくずが切削作業に種々の悪影響を及ぼす。たとえば旋削作業においては、連続した切りくずは工作物や切削工具に巻き付き、巻き付いた切りくずが切削仕上げ面を傷つけたり、工具欠損を生じさせる。なによりも、巻き付いた切りくずを取り除く必要に迫られる。したがって、切削作業の望ましい切削状態は、流れ形

切りくずを生成させ、不連続形切りくずを排出させることである。金属材料の旋削作業では、切りくずを折断する方法として、まずチップブレーカーが使用される。チップブレーカーには、切りくずが折断される領域が存在し、①低送り、②小切込みでは切りくずが折断されにくい傾向にある。チップブレーカーによる切りくず折断が難しい場合、間欠送り切削、間欠減速送り切削、低周波振動送り切削などの方法によって不連続形切りくずを排出させることができる。さらに、切削工具先端からすくい面、逃げ面あるいはその両面に高圧クーラントを供給する高圧クーラント供給切削が実用化されている。なお、高圧クーラント供給切削で得られる効果は、切りくず折断効果以外にも、表1に示す種々の効果が確かめられている。

※1 不連続形切りくず、槽成刃先を伴わない連続形切りくず、槽成刃先を伴う連続形切りくずの3種類に分類することもできる。

表1 高圧クーラント供給切削で得られる効果^{※1}

1. 切りくず折断効果
 - 切りくず巻き付きによる設備停止の防止による完全自動化の実現
2. 切削領域の冷却による工具摩耗抑制効果
 - 工具交換回数低減、および高速度切削による加工時間短縮の実現
3. 深穴加工時の切りくずの排出性向上
 - ノンステップ加工による加工時間短縮の実現
4. 加工時の揺れ抑制
 - 手作業によるバリ取り作業工数低減の実現

さて、前述のように切削加工における様々な問題解決に、高圧クーラント供給技術が実用化されているが、研削加工においても高圧クーラント供給による目詰まり解消を目的とした高圧除去ドレッサー装置（HPRドレッサー装置）が実用化されている。砥石の研削状態は、図1に示す3種類の異常状態（目こぼれ、目詰まり、目つぶれ）と正常状態に大別される。図1(d)は研削の状態が、目こぼれ、目詰まり、目つぶれになった場合、正常状態にする対処方法の一例である。たとえば、研削状態が目つぶれの場合、軟らかい結合度（結合度A方向）、あるいは粒度番号を小さく（粒径の大きい砥粒）することにより、目つぶれを解消できる。しかし、実際の研削作業においては、目こぼれ、目つぶれの発生に比べ、目詰まりの発生と研削作業に大きな支障をきたす。このため、砥石に目詰まりが生じると、一般砥粒砥石では単石ダイヤモンドドレッサーによるドレッシングが行わ

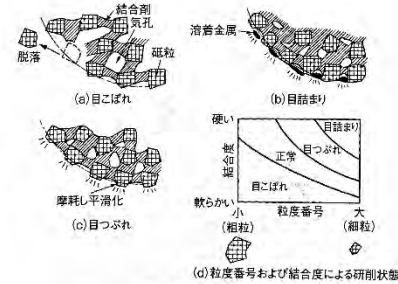


図1 砥石の研削状態^{※2}

表2 研削砥石をドレッシングすることにより予測される問題点（一例）

1. ドレッシング後の砥石直径がわずかに減少する
 - ゼロ点調整が必要となる。
2. ドレッシング前後の砥石作業面の状態が変化する
 - 研削仕上げ面の表面状態に変化が生じる。
3. 機外でのドレッシングにおける砥石の取外し、取付け
 - タイムロスが生じる。
4. 電着砥石では機上でのドレッシングが難しい
 - 機上でのドレッシングそのものが不可能な場合も多い。

れる。また、超微粒砥石では、結合剤に道したドレッシングが行われる。いずれの砥石のドレッシングも、砥石作業面の一部を除去するため、目詰まりのみ解消するのではなく、目つぶれも同時に解消できる。しかし、ドレッシングを実施することにより、表2に示す種々の問題が発生するため、研削作業効率向上のためにはドレッシングは避けたい作業の一つであろう。

そこで、切削作業において切りくず折断に効果がある高圧クーラントを砥石作業面に噴射させることによって、砥石気孔に詰まった切りくずや砥石の破片を高

圧クーラントで除去する高圧除去ドレッサー装置が開発された。ただし、高圧除去ドレッサー装置のみで従来から行われていたドレッシングを完了するのではなく、従来の機械的なドレッシング、ツールリングも併用する必要がある。

2. 切削加工における高圧クーラント供給技術の効果を調べる実験

表1に示したように、高圧クーラント供給切削では種々の効果が得られるが、ここでは、「1. 切りくず折断効果」について解説し、「2. 切削領域の冷却による工



図2 高圧クーラントユニットの外観^{※3}（トクビ製作所）

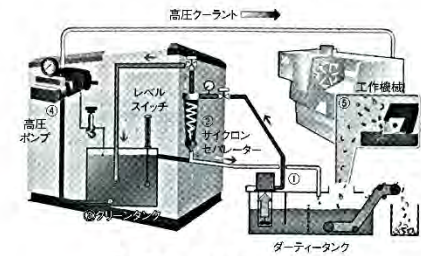


図3 高圧クーラントユニットの仕組み^{※3}

具摩耗抑制効果^{※4}などについては、別の機会に解説する。

図2は、高圧クーラントユニット（トクビ製作所製HIPRECO 185-20）である。この高圧クーラントユニットの主な仕様は、最大吐出圧力20MPa、最大吸水量45L/min、最大出力18.5kWである。高圧クーラントユニットの仕組みを図3に示す。クーラントの流れの大きな仕組みは次のとおりである。

- ① 工作機械からクーラントユニットへ液み上げ
- ② 標準装備のろ過装置サイクロンセレータで遠心分離
- ③ クリーニングタンク（75L〜180L）へ充填
- ④ 高圧ポンプで圧送
- ⑤ ノズル付き工具で刃先へ吐出

図4は、切削実験で使用したCNC旋盤である。このCNC旋盤の主な仕様は、主軸用電動機（30分/連続）15/11kW、主軸最高回転数3500min⁻¹である。

使用した工作物は、アルミニウム合金A7075である。図5に、アルミニウム合金の旋削で使用した切削工具を示す。工具



図4 高圧クーラント供給切削で使用したCNC旋盤^{※3}



図5 クーラントの供給方法^{※3}

* [著者問合せ]
〒574-8530 大阪府大東市中垣内3-1-1
Tel.072-875-3001
E-mail t.wada@ge.osaka-sandai.ac.jp

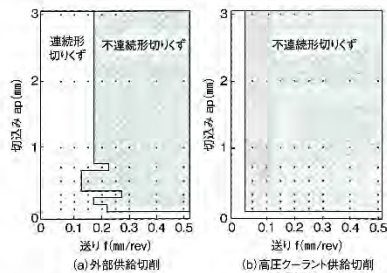


図6 アルミニウム合金A7075を切削速度5.0m/sで旋削した場合の切りくず折断領域³⁾

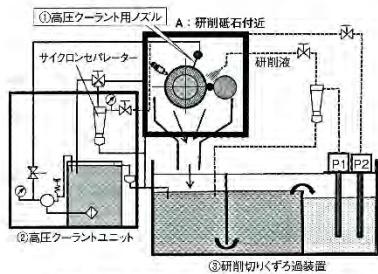


図7 高圧除去ドレッサー装置の構成要素¹⁾

材種は、ISO K10超硬合金である。

切削部へのクーラントの供給方法は、外部供給法と高圧クーラント供給法を用いた。高圧クーラント供給法では、クーラントは図5に示すノズルAおよびBから、それぞれすくい面および逃げ面に供給される。本稿では、クーラント吐出圧力20MPaの場合について解説する。クーラントは、ユシローケン FGS650(濃度10±3%)を用いた。

図6に、切りくずが折断領域を示す。ここで、切削速度5.0m/sと一定とし、送り0.05~0.50mm/rev、切込み0.1~3.0mmの範囲で旋削を行った。なお、切込み3.0mmの場合、送りは0.05~0.25mm/revの範囲である。図中の実線は、連続形切りくずと不連続形切りくずの境界であり、灰色で塗りつぶされている範囲は、切りくずが折断された送りと切込みの組合せである。図6(a)に示す外部供給切削では、

送りが0.15mm/rev以下の場合、切りくずはほとんどの送りで折断されない。これに対し、図6(b)に示す高圧クーラント供給切削(クーラント吐出圧力P=20MPa)では、すべての送りと切込みの組合せで、切りくずは折断される。

これらのことより、高圧クーラント供給技術は、切りくず折断に有効であることが分かる。

3. 研削加工における高圧クーラント供給技術の効果を調べる実験

流体を利用し、泥などの物質を除去する方法は、日常的に経験する。たとえば、高圧洗浄機によって泥汚れを除去する場合、水圧が高くなるほど泥の剝離能力が高くなり、水量が増加するほど泥の除去量は増加する。高圧除去ドレッサー装置は、砥石作業面に高圧のクーラントを噴

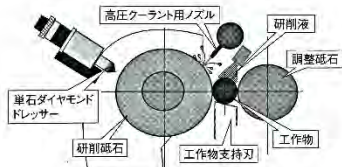


図8 図7で示した“A: 研削砥石付近”の状態¹⁾



図9 センターレス研削盤¹⁾

射することにより、切りくず、砥石の破片を除去し、目詰まりを解消する装置である。

ここでは、高圧除去ドレッサー装置の概要、工作物の表面粗さから見た目詰まり解消の有効性について解説する。

図7に、主な構成要素を示す。高圧除去ドレッサー装置は、目詰まりを解消する①高圧クーラント用ノズル、ノズルに高圧のクーラントを供給する②高圧クーラントユニット、③研削切りくずろ過装置から構成されている。

図8に、図7で示した“A”部、すなわち研削砥石付近の状態を示す。高圧クーラント用ノズルから噴射されるクーラントによって気孔に残留する切りくずなどを除去できる。

図9に、研削実験で使用したセンターレス研削盤を示す。

高圧除去ドレッサー装置の効果を確かめるために、SUS304丸棒(φ22mm×L100mm)のセンターレス研削を行った。研削砥石に目詰まりが生じると研削抵抗が大きくなり、振動が生じ研削仕上げ面が粗悪になる。そこで、工作物の表面粗さRaを測定することによって、研削砥石の目詰まり状態を間接的に評価した。実験で使用した研削砥石を表3に、研削条

表3 研削砥石¹⁾

砥石仕様	C/GC 8017V81R(外径455mm×厚さ205mm×穴径228.6mm)
砥粒	C/GC…炭化けい素を主体とした砥粒
粒度	80…砥粒の大きさが平均177μm
結合度	I…[I]は、軟らかめの設定
組織	7…容積比50%が砥粒
結合剤	V…ビトリファイド結合剤
最高周速	2000m/min(参考)

表4 研削条件¹⁾

研削速度	1760m/min(砥石回転数: 1400rpm)
取り代	0.05mm
研削時間	50s
ノズル送速	533mm/min(ノズル穴径φ0.3mm)
砥石仕様	C/GC 8017V81R(外径455mm×厚さ205mm×穴径228.6mm)
被削材	SUS304 φ22mm×L100mm(1本当たりの研削時間は60秒)
単石ダイヤモンドドレッサーによるドレッシング実施の判定基準	連続20本の研削を行い、20本目の表面粗さRaが0.3μm以上になれば、ドレッシングを実施

件を表4に示す。

図10に、センターレス研削を行った工作物の本数と工作物の表面粗さRaの関係を示す。表面粗さRaは、工作物20本のセンターレス研削が終了した20本目の工作物の測定値である。ここでは、表面粗さRaの測定値が設定値の表面粗さRa0.3μm以上になれば、単石ダイヤモンドドレッサーを使用しドレッシングを行った。従来の研削方法では、980本の工作物をセンターレス研削する場合、ドレッシングを7回行う必要がある。これに対し、20本の工作物をセンターレス研削した後、高圧除去ドレッサー装置を用いると、ドレッシングを1回も行わないで980本の工作物をセンターレス研削できる。

図10に示したように、高圧除去ドレッサー装置を用い、980本の工作物のセンターレス研削を行ったが、ドレッシングを1回も行う必要がなかった。さらに高圧除去ドレッサー装置を用いたセンターレス研削を行った。その結果、2120本目の工作物をセンターレス研削した時点で、表面粗さRaの測定値が設定値の表面粗さRa0.3μm以上になった。このため2120本の工作物のセンターレス研削を行った時点で実験を終了した。図11に、2120本までの工作物の表面粗さRaの変化を示す。

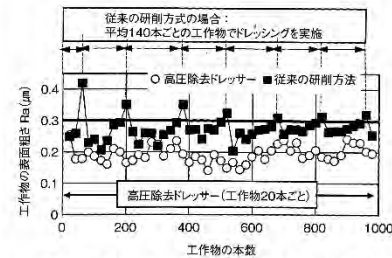


図10 工作物の本数が980本以下における高圧除去ドレッサー装置の効果¹⁾(Ra0.3μm以上でダイヤモンドドレッサーによるドレッシングを実施)

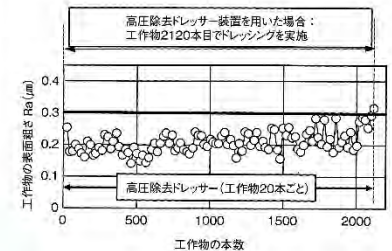


図11 工作物の本数が2120本以下における高圧除去ドレッサー装置の効果¹⁾

4. おわりに

本稿では、切削・研削加工の高効率化に貢献する高圧クーラント供給技術について、切削加工における切りくず折断効果、研削加工における目詰まり解消について解説を行った。

切削加工における高圧クーラント供給の効果を調べる実験では、工作物としてアルミニウム合金を取り上げ、切りくずが折断されにくい低送り、小切込みの切削条件下において、高圧クーラント供給の切りくず折断効果について述べた。その結果、クーラント吐出圧力が20MPaで高圧クーラント供給切削を行うと、切削実験で使用した送りと切込みのすべての組合せで切りくずは折断された。

研削加工における高圧クーラント供給の効果を調べる実験では、研削砥石に発生した目詰まりをクーラントで解消する高圧除去ドレッサー装置を用いることに

より、単石ダイヤモンドドレッサーを使用したドレッシングの回数が、通常の研削に比べ1/15(=140本/2120本)に減少し、研削作業効率の向上が達成できた。

参考文献

- 1) 和田弘、森合勇介: 研削作業効率の飛躍的向上を目指して、機械と工具、2021年11月号。
- 2) 平井三友、和田弘、塚本晃久: 機械系教科書シリーズ3 機械工作法(増補)、コロナ社(2005発行)。
- 3) 和田弘、森合勇介: 切削現場の飛躍的高効率化に挑戦する高圧クーラント供給切削—高圧クーラント供給切削の切りくず折断効果—、ツールエンジニア 2021年10月号。