

潤滑経済

2016
No.610

3

●特集／切削・研削加工技術と金属加工油剤の動向

複合加工機による難削材の高能率研削・切削／研削加工の高能率化・高機能化・エコロ
ジー化／機械加工におけるバリの基礎技術／ハードターニングにおけるセミドライ加工
の有効性／超高压クーラントの動向／環境配慮と生産性向上を実現する水溶性切削油剤
の開発動向／合成金属加工油剤における水溶性潤滑添加剤としての陰イオン改質型 PAG
について／硫黄系極圧剤の最新動向 硫黄鎖長制御技術を用いた新規硫化オレフィン
PR のページ：切削・研削加工油剤、MQL セミドライ
製品と技術：金属加工油剤の分析・開発におけるイノベーション

環境とテクノロジーの未来を考える

水溶性切削・研削油剤

ファインカットシリーズ

ファイン
カット **222TC**

高い加工性

工具寿命の延長

使用量の削減

工具寿命

UP

約 **1.7** 倍

自社製品エマルジョンタイプとの比較

BEST INDUSTRY SUPPORTER

NEOS 株式会社 **ネオス**

【本社】〒650-0001 神戸市中央区加納町6丁目2番1号(神戸関電ビル)

TEL (078) 331-9382(代) FAX (078) 331-9319

<http://www.neos.co.jp/>

超高压クーラントの動向

株式会社トクビ製作所
製造部
森合 勇介

■著者連絡先
〒581-0854 大阪府八尾市大竹3-167
TEL 072-941-2288 FAX 072-941-5181

はじめに

近年、変化するニーズに対応する加工技術は高生産性、低コスト、高付加価値化の要求がますます高まっており、それぞれの企業がより踏み込んだ部分まで、各々の状況に合った最適化を進めていく必要があり、加工点、設備だけに捉われず1つの製品を生み出すに当たり様々な視点から改善の意識を持つことが重要であると考え、ここでは加工データを含め超高压クーラントを利用した加工技術について紹介する。

1. 旋削加工時におけるクーラント吐出

1.1 既存技術による切りくず処理

一般的にクーラント（切削油）が必要とされる加工は、冷却性や潤滑性を高め被削材表面粗さ向上、工具摩耗の抑制を目的とする。

旋削加工のクーラント吐出は生成された切りくずを洗い流すようにかかっており、切削点近傍へは到達しにくい（図1）。

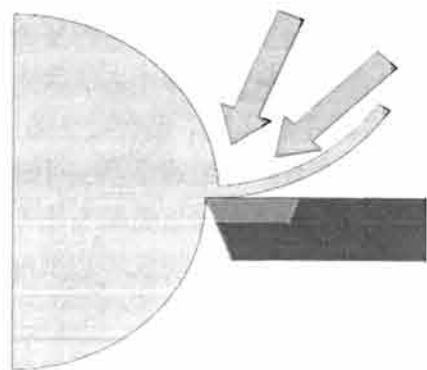


図1 外部供給

1.2 超高压クーラントを利用した切りくず処理

超高压クーラントは、超高压クーラント用工具を使用することでチップインサートと生成された切りくずの間に向けて吐出することで切りくずをリフトアップさせ、カール半径が小さくなることで分断することが知られている（図2）。

2. 切りくずのリフトアップ効果検証

実際に超高压クーラントを利用した切りくずがリフトアップ効果によりカール半径が小さくなり分断することを観察するため、被削材としてφ50のチタン合金Ti-6Al-4V、 $V_c=50\text{m/min}$, $f=0.15\text{mm/rev}$, $a_p=1.0\text{mm}$ の条件で外径加工を行い1MPaと14MPa時の切りくず形状を比較したところ、その差は顕著であった（図3）。また、工具寿命に影響のある逃げ面摩耗値についても1MPa時120 μm 、14MPa時65 μm と好変化がみられたことも付け加えておきたい。

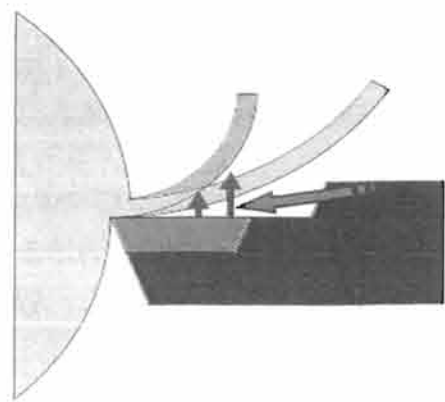


図2 刃先近傍ノズル付き工具

| | | |
|------|---|-------|
| 切削条件 | $V_c=50\text{m/min}$, $f=0.15\text{mm/rev}$, $a_p=1.0\text{mm}$ | |
| 被削材 | チタン合金 | |
| 圧力 | 1MPa | 14MPa |
| 切屑画像 | | |

図3 チタン合金切りくず

3. 超高压クーラントの効果的活用

前項で述べたように、超高压クーラントを効果的に活用するにはチップインサートと生成された切りくずの間にくさび状に吐出させ切りくずのリフトアップ効果を得るための超高压クーラント用工具を使用する必要がある。

近年、超高压クーラントに対応した工具が海外メーカーをはじめ国内メーカーでも市販されてきた（図4）。刃先近接にノズルが装着されており、銅管や自在ノズルのようにヒューマンエラーや切りくず衝突によりノズル角度が変わるなどのトラブルが起りにくい設計になっており、切削ポイントに正確かつ近い位置の吐出ノズルを小径穴に絞ることで効果が現れる。

4. 超高压クーラント用工具を利用した加工事例

4.1 低炭素鋼

自動車産業の盛んな日本では熱処理前やブ

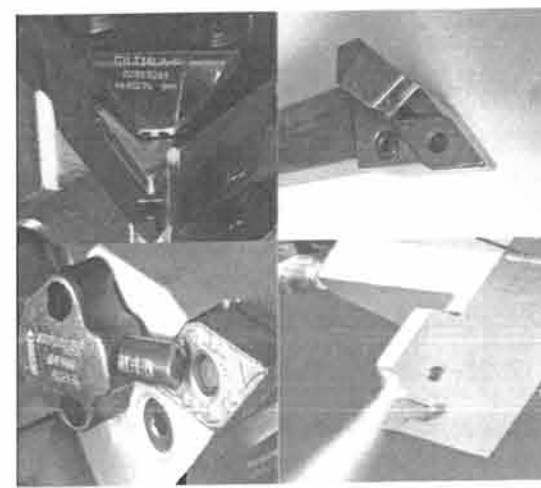


図4 超高压クーラント対応工具

レス材など炭素含有量の少ない素材が多く使われている。背景として工程削減のいわゆる「ニアネットシェイプ」といわれるプレス成型技術の進歩により自動車部品の軽量高剛性化、量産目的による加工コスト削減のため完成形に近い部品生産を可能とした。低炭素鋼の加工は航空機部品などに使用される超耐熱合金である難削材とは違い加工熱が刃先に滞留しにくく工具摩耗の進行は大きくない。しかし、切りくず延性の高いプレス材の仕上げ加工ではプレスによる加工コスト削減とは裏腹に被削材の延性の高さによりチップブレーカーでは切りくずを処理しきれない。コントロールできずに伸びた切りくずは被削材、工具、銅管クーラントノズルなどに巻き付いたり加工面を傷つけたりしてしまうなど仕上げ面精度の不安定要素となることが少なくない。加工部位によってはステップ送り等で物理的に切りくずが伸びないような加工を行うこともあるが、サイクルタイムの短縮とは相反するため、ほとんど行われない。

加工機を並べロボットやガントリローダーを導入し自動無人化ラインを構築したにも関わらず切りくずの巻き付きなどの理由によりワーク着脱ミスによる頻繁な機械停止を解除するための人員や機械停止を防止するための切りくず除去人員が必要になり本来目的とした無人化が難しいとされている。

弊社では被削材SPHC（熱間圧延軟鋼板）、 $V_c=200\text{m/min}$, $f=0.2\text{mm/rev}$, $a_p=0.2\text{mm}$ の条件で内径加工を行い、7MPaと15MPa時の切りくずを比較した（図5）。

| | | |
|------|---|-------|
| 切削条件 | $V_c=200\text{m/min}$, $f=0.2\text{mm/rev}$, $a_p=0.2\text{mm}$ | |
| 被削材 | SPHC | |
| 圧力 | 7MPa | 14MPa |
| 切屑画像 | | |

図5 低炭素鋼の切りくず

切りくず破断が不可能と思われていたプレス材でも前項の高圧クーラント対応工具を使用し、加工条件やチップブレイカーを工夫することで巻き付きを起こさないであろう長さに分断できた。

4.2 超耐熱合金

超耐熱合金の主な使用として航空宇宙産業が挙げられる。近年はエネルギー資源節約、CO₂削減、地球温暖化防止の観点からジェットエンジンやガスタービン部品の更なる高効率化が求められている。昨年には国産民間旅客機の試験飛行、国産ロケットの性能向上で国産宇宙事業での商業参加が採算ベースに近づいたことが話題になり高効率化にますます拍車がかかると考える。航空宇宙産業以外にもエネルギー・医療・自動車産業これらの産業が高機能部品の需要に伴い難削材加工が増加している。国内の自動車産業ではハイブリッドが先行しているが海外の交通環境ではダウンサイジングターボの需要が高く国内自動車メーカーもそれに対応せざるを得ない状況である。

超耐熱合金の加工工程では熱伝導率の低さから切りくずが切削熱を吸収せず刃先に滞留してしまい工具摩耗が進行しやすくなる。また延性も高いため切りくず処理性も悪く、溶着・構成刃先を生じやすく刃先の欠損につながることもある。弊社では超耐熱合金の高圧クーラントを活用した加工を試みた。被削材インコネル713、Vc=30m/min (1MPa)、Vc=60m/min (20MPa)、f=0.15mm/rev、ap=0.1mmの条件で外径加工を行い刃先摩耗を比較した(図6)。切削速度を30m/minから60m/minへ上昇しても逃げ面摩耗値は400μmと変化しなかったことから刃先の切削温度を低減できていることが考えられる。

5. 工具摩耗

超耐熱合金の加工が困難とされている最大

の理由は刃先温度の上昇で、前項の実験で高圧クーラントを使用することで刃先温度が低下する可能性が高いことが分かった。

被削材インコネル718を通常クーラント圧力で加工した場合と高圧クーラントを用いて加工した場合の刃先温度の変化を図6に示す。通常、クーラント圧力(Conv.)に対して圧力を上昇させるに伴い刃先温度が反比例して低下していることが分かる。切削速度35m/minで通常クーラント圧力に対して、30MPa時の刃先温度は800℃弱から30%減少している。すなわち切削点のより近接したところまでクーラントが行き届いたことで刃先温度が低下したと考えられる。

図7では工具刃先逃げ面へ吐出する工具を使用して、逃げ面摩耗に影響のあるといわれている「図8のFilm boiling area (膜沸騰領域)」が圧力によってどのように変化したか

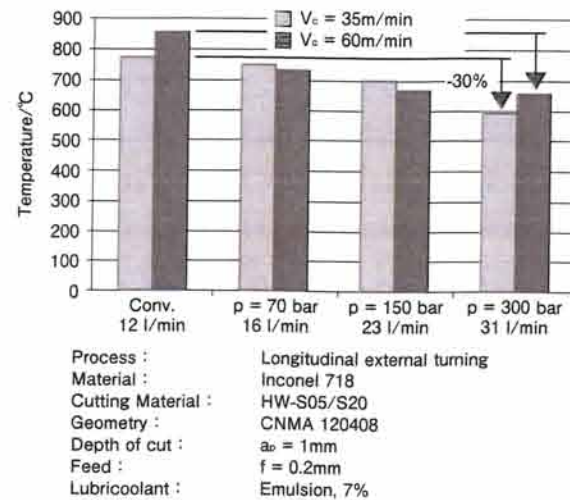


図6 通常圧力と高圧クーラント使用時の刃先温度

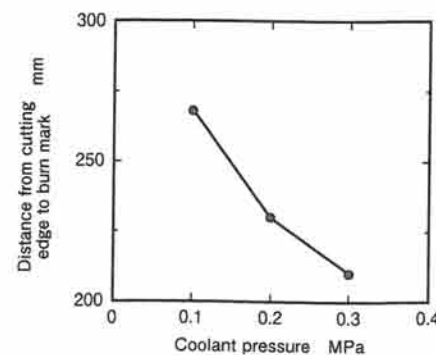


図7 クーラント圧力と膜沸騰領域

を表している。高圧領域ではないが、0.1MPaから0.3MPaにわずかに圧力を上げることで膜沸騰領域が減少していることが分かる。

刃先温度の上昇に伴い膜沸騰領域へのクーラント到達は困難になり到達前に蒸発してしまうため、圧力・流速が必要である可能性が高い。そこへ高圧クーラントを使用すれば切削速度の増加など更なる効果が予想される。

図9では逃げ面・すくい面摩耗とクーラント圧力の関係を示す。図7と同様にすくい面摩耗も同様の現象が起こっていると考えられる。0.6MPa時 401.23μm, 10MPa時 307.74μm, 30MPa時 168.79μmとクーラント圧力を上昇

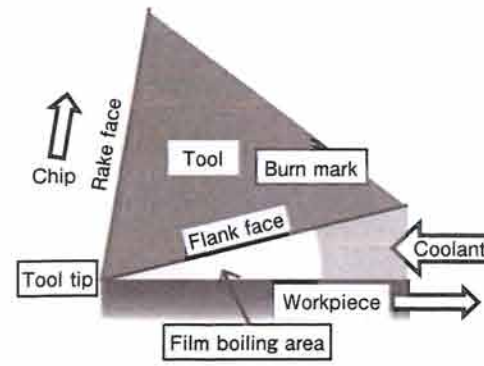


図8 Film boiling area

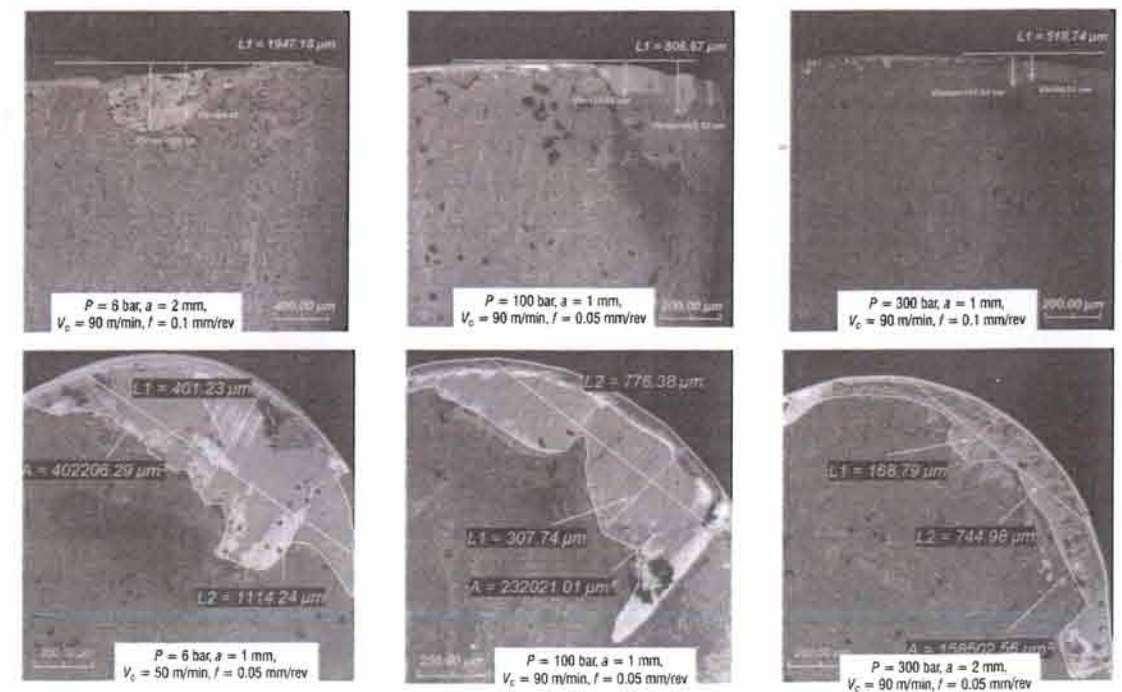


図9 逃げ面・すくい面摩耗とクーラント圧力

させるに伴いすくい面摩耗の領域が減少していることが分かる。逃げ面部と違い、すくい面は切りくずが生成されるため切りくずと刃先の間には到達するには切りくずをリフトアップさせるだけの高圧クーラントの打力が必要になり、刃先との摩耗面積を低減させることでより真の刃先にクーラントが到達できると考える。

6. 高圧クーラント装置

弊社では7MPa～30MPaまでの超高圧域のクーラント装置を標準機として取り扱っている。ポンプメーカーならではの圧力バリエーションで圧力の指定があればどの圧力でも対応を可能とする。装置の基本仕様は工作機械から圧送されたクーラントを15μmの精度で遠心分離しクリーンタンクへ貯水されクリーンなクーラントだけが加工点へ吐出される。遠心分離で発生したコンタミはクリーンタンクのオーバーフローとともに工作機械ダートイータンクへ戻るためノンフィルターで産業廃棄物を出さないメンテナンスフリーになっている。



図10 超高压クーラント装置
(左：標準インバーター仕様，右：スマート仕様)

高圧ポンプの運転信号，注意喚起，アラームなどの信号線インターフェイスは完備されておりコネクター接続すれば工作機械と連動できる。

インバーター搭載仕様においては高圧ポンプ吐出量に必要な動力だけ消費し，余分なエネルギー・発熱を最大限に抑制させ消費電力を大幅に削減することができる。

追記となるが，弊社工場既存旋盤で超高压対応改造を実現しており，高圧クーラントによる加工実験，模擬テスト加工が可能である。

おわりに

高圧クーラントを用いた加工技術には未知な部分もあるが加工改善の有力なアイテムの1つになる可能性を秘めている。今後ますます高まるグローバル競争の中，日本の先端技術に貢献できれば幸いである。

<参考文献>

- 1) Oğuz Çolak : Investigation on Machining Performance of Inconel 718 under High Pressure Cooling Conditions 2012 Journal of Mechanical Engineering.
- 2) 帯川利之ほか：東京大学生産技術研究所 Vol. 67 (2015) No. 6 p. 607-612 高圧クーラントを用いた高速切削の動向と最新のトピックス
- 3) F Klocke, H Sangermann, A Krämer, and D Lung, Influence of high-pressure lubricoolant supply on thermo-mechanical load tool wear behavior in the turning of aerospace materials, Proc. ImechE, 225, B1 (2011) 52-61.

潤滑 NEWS

「第37回 切削油研究会」，高圧クーラントをテーマに開催されるー出光

出光興産は，2015年11月24日（火）に東京，翌25日（木）に大阪で「第37回 切削油研究会」を開催し，東京は114名，大阪は97名が参加した。

同研究会は，切削技術の最新情報提供と意見交換の場として，1975年から開催されている。

日本の製造業は，厳しい経済環境下，新興国企業との厳しいコスト競争に打ち勝つため，生産性向上の取り組みを強化している。今後，日本のものづくりが更なる発展を遂げるためには加工技術の向上を含めた生産性向上が必要不可欠であることから，37回目の開催となる今回は，生産性向上につながる高能率加工に必要な高圧クーラント技術をテーマに掲げ，(株)トクビ製作所，(株)牧野フライス製作所，サンドピックス(株)から講師を招いて講演を行った後，服部秀章氏（出光興産(株) 営業研究所）が「高圧クーラ



ントを用いたステンレスの高能率切削加工」と題して講演した。

各講演の後の質疑応答では来場者から現場での適用における活発な質問や意見交換が行われた。