

生産加工技術を支える

機 械 と 工 具

2022
7

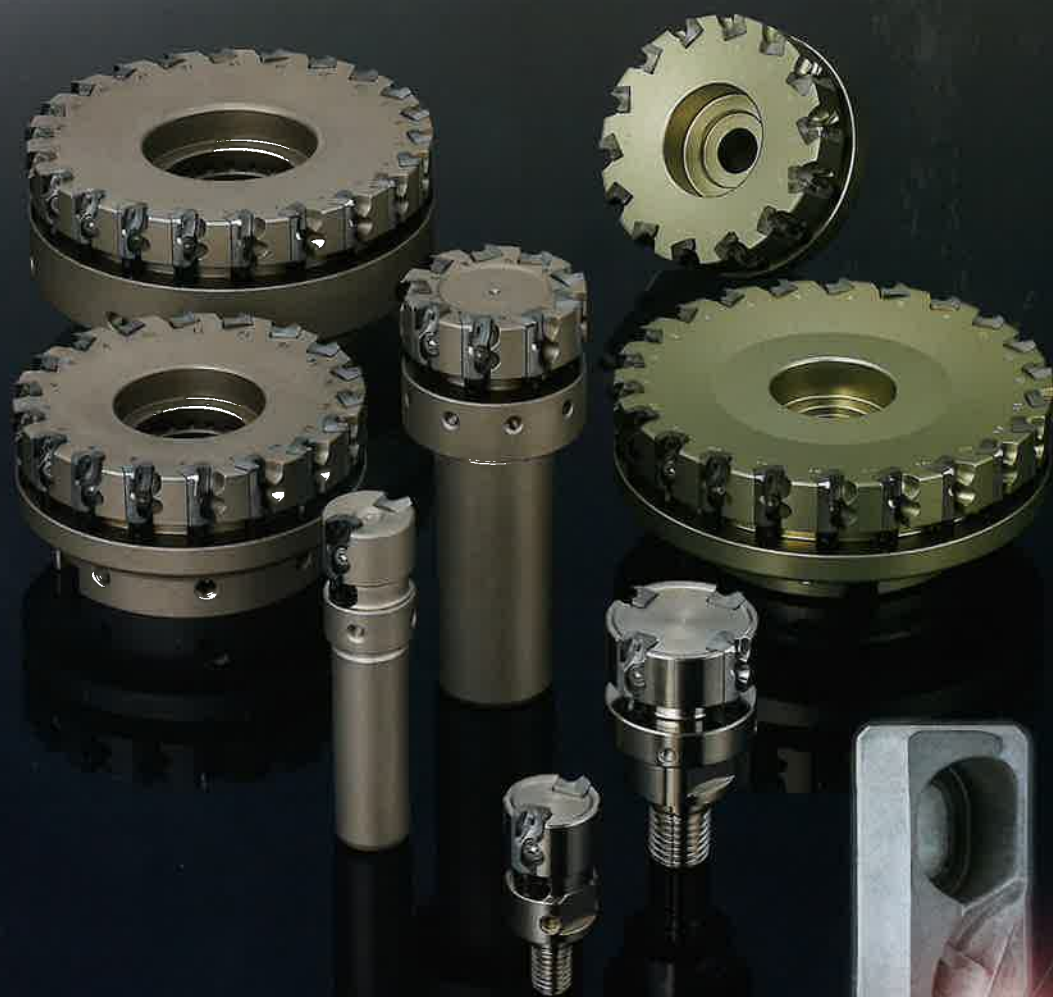


機械と工具
オフィシャルサイト

- 1: 微細・精密加工の現在とこれから
 - 2: 最新航空機部品加工への
ニーズと加工技術
- 特別企画: INTERMOLD2022名古屋
注目出展機器ガイド

 住友電工
Connect with Innovation

 SUMITOMO
CARBIDE - CBN - DIAMOND
Global Support, Global Solutions.



アルミニウム合金加工用高能率カッタ

ALNEX ANX型

CVD単結晶ダイヤモンド
SCV10 ワイパーブレード
SUMICRYSTAL

HPCでハードターニング加工の切削時間短縮を達成

和田 任弘*、森合 勇介**

1. はじめに

金属切削における切削時間短縮には切削速度の高速化が有効な方法である。機械部品として多用されている鋼材の切削後、被削材（鋼材）を触って「熱い」と感じた経験がおりと思う。なぜ、切削後の工作物が「熱い」のか。

切削に費やされる仕事は、おおむね下記の4項目に分類できる。

① せん断変形が起こる領域（被削材をせん断変形させるための仕事）

② 切りくずとすくい面の摩擦領域（切りくずが工具すくい面と接触しながら流出するための仕事）

③ 工具刃先での切りくず分離領域

④ 工具逃げ面と切削仕上げ面の接触領域

切削工具の摩耗が進行すると、領域③、④で費やさせる仕事も大きくなるが、通常の切削では、領域①、②に比べ小さいので問題にならない。このため、領域①、②で費やされる仕事が大部分を占める。

一般によく知られているが、流れ形切りくず生成時における2次元切削では、領域①と②で費やされる動力（単位時間当たりにする仕事）は、工具形状（すくい角）、切削条件（切削速度切込み）が既知の場合、切りくず厚さ、切削抵抗を測定することによって計算することができる。本報では詳細は割愛するが、たとえば、領域①（せん断変形が起こる領域）で消費される動力は、『せん断力』と『せん断面方向の速度』の積であらわ

される。この領域①で費やされる動力の熱への変換割合がわかると、領域①で発生する単位時間当たりの熱量を計算することができる。

したがって、切削速度が高速になるほど切削に費やされる動力は増加し、単位時間当たりの発生熱量も増加する。そして、これらの領域①、②で発生する熱は、切削工具、被削材、切りくず、雰囲気（乾式切削の場合は空气中、湿式切削の場合は切削油剤）に伝わる。

ここで、総発生熱量の内、切削工具、被削材、切りくず、切削点近傍の雰囲気に伝わる熱量が分かれば、切削温度が高温になるか、あるいは低温になるかは、おおむねわかる。たとえば、熱が伝わりにくい切削工具や被削材を使用すれば「切削温度が高温になりやすい。」ことがわかる。また、雰囲気として乾式切削（空气中での切削）よりも湿式切削（切削油剤を供給する切削）のほうが、「切削温度が低温になりやすい。」こともわかる。

ここで対象としている金属切削では、切削温度が高くなると被削材は軟化し切削抵抗は減少するが、切削工具も軟化するため工具寿命が短くなる。このため、工具材種には適した切削速度が存在し、工具メーカーのカタログには推奨切削速度の範囲が記載されている。

さて、上述のように、切削温度を低下させるためには、湿式切削が有効な方法である。最近、高圧で切削油剤^{注1)}を切削部に供給させる高圧クーラント供給切削が注目されている。図1は、高圧クーラントユニットの出荷台数^{注2)}を示したも

注1) 切削油剤の作用には、潤滑作用、冷却作用がある。その他にも、溶着防止、切りくず排除、錆止め、洗浄などの作用も期待できる。特に「冷却作用」が重視される場合、冷却効果の高い「水溶性切削油剤」が使用される。ここでは、この水溶性切削油剤のことをクーラントと呼んでいる。

*WADA, Tadahiro/大阪産業大学 工学部 機械工学科 特任教授

**MORIGO, Yusuke/㈱トクピ製作所

のである。ここでは、2016年の出荷台数を100とした。2020年は、2016年の2倍以上の高圧クーラントユニットが出荷されており、今後も出荷台数の増加が期待されている。なお、表1に高圧クーラント供給切削で実現できる生産性向上の一例を示す。

本報では、合金工具鋼（ダイス鋼）SKD11（焼入れ焼戻し硬度：60HRC）のハードターニング加工において、高圧クーラント供給切削を用いることにより、切削速度600m/minの高速切削により切削時間短縮を達成することができたので、このことについて解説する。

2. 切削実験の方法

切削実験に使用した被削材は、合金工具鋼SKD11（焼入れ焼戻し硬度：60HRC）である。工具材種は、表2に示す3種類のcBN焼結体を用いた。なお、結合相のAlはcBN工具焼結体の焼結助剤として用いられ、焼結時にcBN粒子および他の結合相と反応し、焼結後にはAlとして

は残留しない。これら3種類のcBN焼結体は、全て市販品である。

PTJNL 2525M16JETL型バイトホルダ（□25mm×25mmバイトホルダ）に、TNGA160408型インサートを取付けた切削工具を使用した。なお、cBN工具の切れ刃には、ネガランド（ネガランド幅 $W=0.13\text{mm}$ 、ネガランド角度 $\alpha=-25^\circ$ ）とRホーニング（ $R=0.015\text{mm}$ ）が施されている。これらの刃先仕様（ W 、 α 、 R ）は、加工に適した数値を選ぶ必要があり、たとえば、断続切削では大きなネガランド角度が推奨される。

表3に切削条件を示す。送り0.05mm/rev、切込み0.1mmを一定として、切削速度を300m/minから600m/minまで変化させた。切削方式は、乾式切削、および湿式切削である。湿式切削で

注2) 株式会社トクピ製作所（〒581-0854 大阪府八尾市大竹3-167）の社内データ

注3) 和田任弘、森合勇介：研削作業能率の飛躍的向上を目指して -HPRドレッサで目詰まりの解消-、機械と工具、第11巻第11号（2021年）、pp. 90-94. から引用

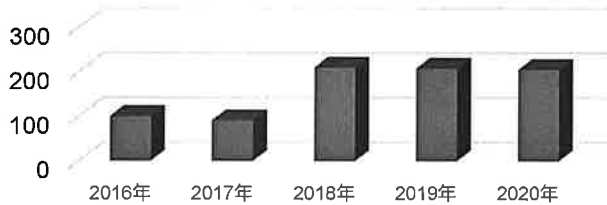


図1 2016年を100とした場合の出荷台数

表1 高圧クーラント供給切削で実現できる生産性向上^{注3)}

- 切りくず折断効果
 - ・切りくず巻付きによる設備停止の防止による完全自動化の実現
- 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
- 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
- 加工時の抜けバリ抑制
 - ・手作業によるバリ取り作業工数低減の実現

表2 cBN焼結体の材種特性

工具タイプ	主結合相	cBN含有率 [cBN粒子/結合相]	cBN粒径 [μm]
cBN工具 A	TiCN-Al	45/55	5.0
cBN工具 B	TiN-Al	65/35	3.0
cBN工具 C	TiN-Al	75/25	5.0

表3 切削条件

切削速度	$V=300, 450, 600\text{ m/min}$
送り	$f=0.05\text{ mm/rev}$
切込み	$a_p=0.1\text{ mm}$
切削方式	乾式切削、湿式切削（高圧クーラント供給切削、クーラント吐出圧力 $P=7、20\text{MPa}$ ）



図2 トクピ製作所HIPRECO185-20型高圧クーラントユニット



図4 森精機社製SL-25型ターニングセンター

は、高圧クーラントユニットにより切削部にクーラントを高圧供給した。クーラント吐出圧力は、7、および20MPaで、この場合の吐出流量は、それぞれ16L/min、および28L/minとなる。本報では、切削速度が600m/min、クーラント吐出圧力が20MPaの場合について解説する。切削油剤はユシローケンFGS650（濃度10±3%）を用いた。使用した高圧クーラントユニットは、**トクピ製作所製HIPRECO185-20型高圧クーラントユニット**（最大供給圧力20MPa、最大供給流量45L/min）である（**図2**）。高圧クーラントは、逃げ面およびすくい面の2方向から切削部へ供給された（**図3**）。

使用工作機械は、森精機社製SL-25型ターニングセンター（11/15kW、主軸最高回転数4,200min⁻¹）（**図4**）である。表3に示した切削条件でSKD11の外周旋削を行い、工具摩耗、および仕上げ面粗さを調べた。

3. 実験の結果

種々のcBN工具でSKD11を旋削し、cBN工具の摩耗状態をレーザー走査型顕微鏡を用いて観察した。なお、逃げ面摩耗幅の最大値（VBmax）を測定し、VBmaxが0.15mm程度まで切削を行った。**図5**は、切削速度600m/minにおける工具摩耗を示している。図5(1)と図5(2)は、それぞれ乾式切削と高圧クーラント供給切削（クーラント吐出圧力：20MPa）の場合を示している。図5(1)に示す乾式切削では、切削距離376mでVBmaxが0.15mm程度あるいはそれ以上のVBmaxになったため切削を中断した。特に、

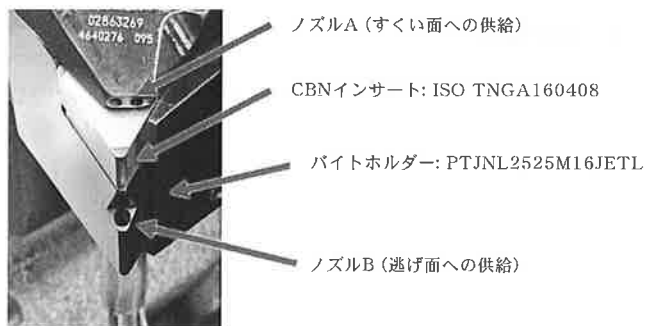


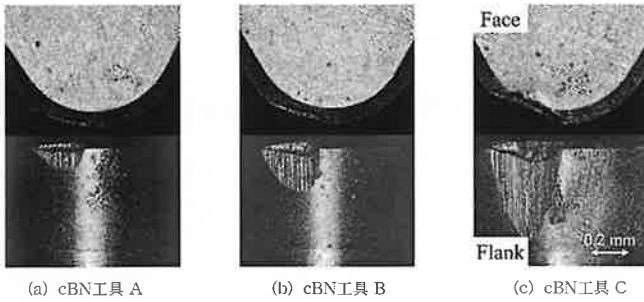
図3 クーラントの供給方法

cBN工具Cの損傷の程度が大きい。図5(2)に示す高圧クーラント供給切削の場合は、切削距離376mではVBmaxが0.15mmより小さかったため、VBmaxが0.15mm程度になるまで切削を継続した。

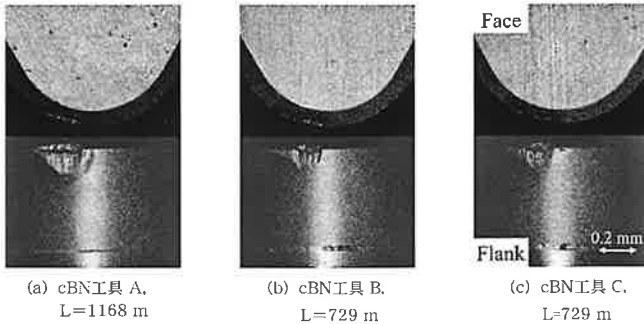
図5(1)、図5(2)と比較すると、図5(2)に示す高圧クーラント供給切削では、乾式切削に比べ長時間の切削が可能であることがわかる。特に、cBN工具Aによる高圧クーラント供給切削では、乾式切削に比べ3倍の長時間切削が可能である。

図6に3種類のcBN工具を用いたSKD11の高圧クーラント供給切削における切削距離 [L] と逃げ面摩耗幅の最大値 [VBmax] の関係を示す。3種類のcBN工具を比較すると、cBN工具Aの摩耗進行が最も遅い。この理由の一つとして、結合相の違いが考えられる。

図7に、cBN工具Aを用いてSKD11の高圧クーラント供給切削を行った場合の切削距離と表面粗さの関係を示す。逃げ面摩耗幅は切削距離の増加とともに増加（**図6**）し、表面粗さ（最大高さ [Rz]）も切削距離の増加とともに増加している。切削距離1,080mまでの切削で、Rz＝



(1) 乾式切削 (切削距離376m)



(2) 高圧クーラント供給切削 (クーラント吐出圧力: 20MPa)

図5 SKD11を切削速度600m/minで切削した場合の工具摩耗 (L: 切削距離)

1.31 μ mの表面粗さを得ることができる。

4. おわりに

本報では、cBN工具によるSKD11の旋削時に高圧クーラント供給を併用した場合の工具摩耗、および表面粗さについて解説した。その結果、切削速度600m/minの場合、高圧クーラント供給切削では、乾式切削に比べ、工具摩耗を抑制することができる。また、主な結合相がTiCN-AlのcBN工具が適していることを解説した。

以上のことから、SKD11のハードターニングにおいて、切削速度600m/minの高速切削により切削時間の短縮を達成することができる、高圧クーラント供給切削を提案した。さらに、TiCN-Al結合相のcBN工具では、切削距離1,080mまでRz=1.31 μ mの表面粗さを得ることができることを示した。

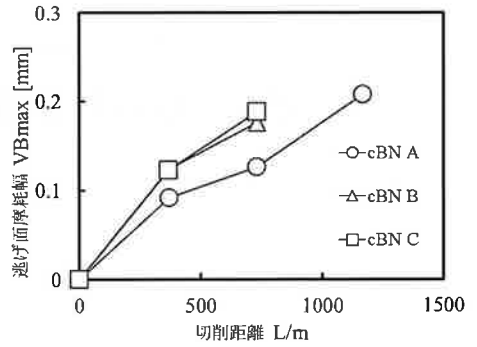


図6 SKD11の高圧クーラント供給切削時における切削距離と逃げ面摩耗幅の関係 (切削速度: 600m/min、クーラント吐出圧力: 20MPa)

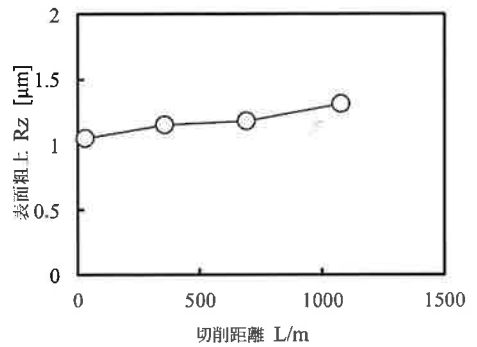


図7 cBN工具AによるSKD11の高圧クーラント供給切削における切削距離と表面粗さの関係 (切削速度: 600m/min、クーラント吐出圧力: 20MPa)

(2) T. Wada, K. Okayama, Y. Morigo, Tool wear of sintered cubic boron nitride compact in cutting hardened steel with high-pressure coolant supplied, High Performance and Optimum Design of Structures and Materials II (Proceedings of the 2nd International Conference on High Performance and Optimum Design of Structures and Materials (HPSM 2016)), Volume 166, pp. 191–200, 2017 (<https://doi.org/10.2495/hpsm160171>).



本報で使用したデータには、下記の学術論文から引用したデータが含まれています。

(1) 和田任弘、岡山和樹、森合勇介、田中宏明: 高圧クーラント供給を用いた焼入れ鋼切削におけるcBN焼結体の工具摩耗、日本設計工学会 四国支部 平成27年度研究発表講演会 (2016年3月14日)、講演論文集。