

月刊 THE TRIBOLOGY

トライボロジー

2025
No.451

3



特集

切削・研削・塑性加工技術

工作機械向け低フリクションボールねじ「MT-Frix™」
日本精工

高硬度材のHPC加工における工具の刃先形状の選定 — cBN焼結体工具の最適刃先形状の決定 —



和田 任弘

Tadahiro WADA

和大学 理工学部 理工学科 教授

森合 勇介*

Yusuke MORIGO

(株)トクピ製作所 部長

表1 高圧クーラント切削で実現できる生産性向上⁵⁾

1. 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
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. 加工後のバリ除去 ・手作業によるバリ取り作業工数低減の実現

1. はじめに

最近、生成される切りくずを流体の圧力で曲げることによって切りくずを折断できるHPC(High Pressure Coolant)技術が注目されている¹⁾。この方法は、バイトのすくい面、逃げ面、あるいはすくい面と逃げ面の両方向から切削部にクーラントを高圧で噴射する方法であり、高圧クーラントに対応したバイトホルダーも多数市販されている²⁾。さらに、HPC技術を切削加工に用いる場合、切りくず折断効果以外にも工具摩耗抑制効果³⁾など種々の効果が期待できる。これらの効果により、表1に示す生産性向上が実現できる。特に、乾式切削の場合と比較すると、工作物の温度低下が著しいため、工作物は熱の影響を受けにくく、寸法精度の向上や加工変質層の低下も期待できる。

このことから、難削材の切削にHPC技術を用いることで、生産性向上の達成に大きな効果をもたらすことは筆者らも経験済みである。このため、HPC技術を試されることを期待する。

今までの高圧クーラントに関する文献や解説では、旋削などの連続切削が取り上げられているが、最近、ボルト穴のあ



図1 使用工具

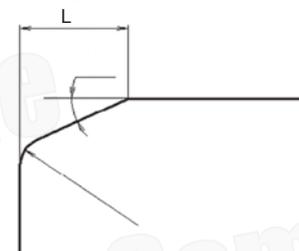


図2 刃先形状 (ネガランドおよびRホーニング)

るフランジの端面や六角材などの断続切削の要求が増しているにも関わらず、端面断続旋削でのHPC技術を取り上げた文献や解説はほとんど見当たらない。たとえば、円盤状高硬度材工作物の中心軸方向に貫通穴を設けたフランジの高エネルギー加工の要求が増しているが、これらのフランジの端面切削では、貫通穴部で断続旋削となるため、工具刃先の欠損が生じやすい。そこで筆者らは、cBN焼結体工具による高硬度材の端面断続高圧クーラント切削を行い、切削速度180、300m/minの高圧クーラント切削では工具の耐

欠損性が向上し、この場合、主な結合相が(WC-Co-Al)のcBN焼結体が適した工具材であることを解説した⁴⁾。cBN焼結体やダイヤモンド焼結体のような超高硬度工具材には、耐欠損性を確保するために刃先にホーニングを施しており、刃先形状(ホーニングの形状・寸法)により焼結体工具の切れ味と耐欠損性が大きく変化する。

刃先形状が異なる(WC-Co-Al)結合相cBN焼結体工具による高硬度材(SKD11(60HRC))の端面断続旋削にHPC技術を用いることにより、切削速度300m/min

*【著者問合せ】

〒581-0854 大阪府八尾市大竹3-167
Tel.072-941-2288 Fax.072-941-5181
E-mail y.morigo@tokupi.co.jp

表2 刃先形状

刃先形状	ホーニングの幅 Lh(mm)	ネガランド角 $\theta h(^{\circ})$	Rホーニング R(mm)
0.13mm-25°-0.02mm	0.13	25	0.02
0.13mm-37.5°-0.02mm		37.5	0.02
0.13mm-45°-0.02mm		45	0.02
0.13mm-45°-0.04mm		45	0.04

表3 cBN焼結体の特性

工具材種	結合相*	cBN含有率**	cBN粒径(μm)	硬さ(Hv)	引張り強さ(GPa)
cBN IV	WC-Co-Al	95/5	3.0	4100-4300	1.90-2.10
cBN IX	WC-Co-Al	85/15	3.0	3900-4100	1.80-1.90

*: 主な結合相, **: (cBN粒子/結合相)

表4 切削条件

切削速度(Vc)	300m/min
送り(f)	0.1mm/rev
切込み(ap)	0.1mm
端面切削の繰返し回数(N)	5、10回
切削方式	高圧クーラント切削(吐出圧力: 20MPa)

の高速度端面断続旋削を達成できた。本稿ではその加工事例について解説する。

2. 切削実験方法

使用工具は、PCLNL2525M12-CHP型バイトホルダーにCNGA120412型インサートを取り付けたものである(図1)。なお、CNGA120412型インサートの刃先には、図2に示すように、ネガランドおよびRホーニングが施してある。このホーニングの寸法は、表2に示すように、ホーニング幅Lh 0.13mmを一定とし、ネガランド角 θh を25°~45°、RホーニングのRを0.02mm、0.04mmとした。また、チップブレーカーが付与されていないインサート

を用いた。

図3に、工作物の形状・寸法を示す。この図に示すように、 $\theta=60^{\circ}$ 、 $d1=122\text{mm}$ 、 $d2=70\text{mm}$ である。この工作物の端面切削を行った。工作物の材質は、高硬度材の一つである冷間金型用の合金工具鋼SKD11(60HRC)である。

表3に、使用したcBN焼結体の特性を示す。なお、この表に示すように、結合相はWC-Co-Alで、cBN含有率が異なる2種類のcBN焼結体を工具材として用いた。また、2種類のcBN焼結体については、cBN焼結体の特性が非公開のため表3には記載していない。これら2種類のcBN焼結体は、すべて市販品である。

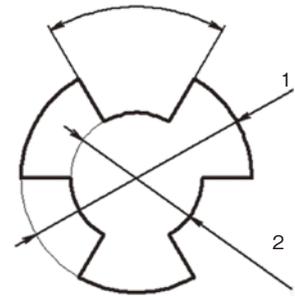


図3 工作物の形状・寸法($\theta=60^{\circ}$ 、 $d1=122\text{mm}$ 、 $d2=70\text{mm}$)

表2および表3に示した各種cBN焼結体工具で、図3に示した工作物の端面断続旋削を行った。

切削条件は、表4に示すように、切削速度Vc = 300m/min、送りf = 0.1mm/rev、切込みap = 0.1mmを一定とし、HPC技術(クーラント吐出圧力P = 20MPa)を用いた。なお、端面切削の繰返し回数は、5回、10回(切込みの合計: 0.5mm、1.0mm)とした。

使用工作機械は、CNC旋盤(11/15kW、主軸最高回転数4200min⁻¹)(図4)である。

使用した高圧クーラントユニットは、トクビ製作所製HIPRECO185-20型高圧クーラントユニット、最大吐出圧力20MPa、最大吐出流量45L/minである(図5)。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。切削油剤は水溶性切削油剤(ユシローケンFGS650、濃度10±3%)を用いた。

表4に示した切削条件で高硬度材SKD11の端面断続旋削を行い、工具の損傷状態を調べた。



図4 CNC旋盤



図5 高圧クーラントユニット

表5 工具の損傷状態

切削速度 $V_c=300\text{m/min}$ 、切込み $a_p=0.1\text{mm}$ 、送り $f=0.1\text{mm/rev}$ 、吐出圧力 $P=20\text{MPa}$

工具	刃先形状	繰返し回数 N	
		N=5回	N=10回
cBN IV	0.13mm-25°-0.02mm	○	×
	0.13mm-37.5°-0.02mm	○	×
	0.13mm-45°-0.02mm	○	△
	0.13mm-45°-0.04mm	○	○
cBN IX	0.13mm-25°-0.02mm	○	×
	0.13mm-37.5°-0.02mm	○	×
	0.13mm-45°-0.02mm	○	×
	0.13mm-45°-0.04mm	○	×

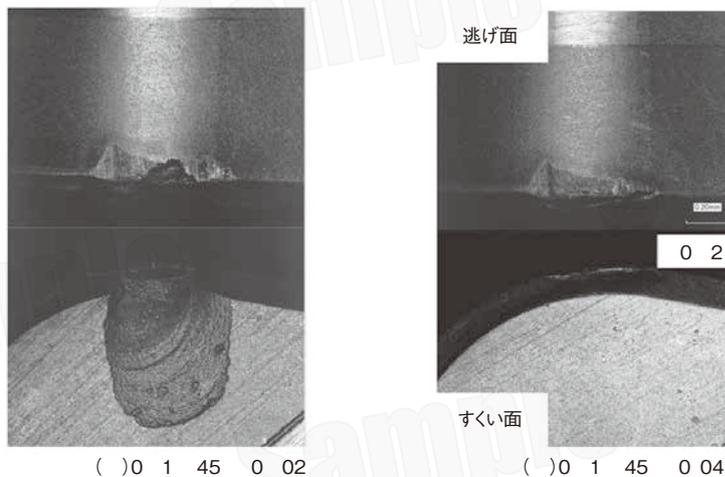


図6 工具摩耗 (cBN IV)

($V_c=300\text{m/min}$ 、 $f=0.1\text{mm/rev}$ 、 $a_p=0.1\text{mm}$ 、 $P=20\text{MPa}$ 、繰返し回数 $N=10$ 回)

3. 切削実験の結果

焼入れ鋼SKD11の断続旋削にはHPC技術が有効であり、結合相は(WC-Co-Al)のcBN焼結体が有効な工具材であることが分かっている⁴⁾。すなわち、cBN IVおよびcBN IXが有効な工具材であった。次に、この2種類のcBN焼結体工具の刃先形状を変化させて、焼入れ鋼SKD11の高圧クーラント断続旋削を行った。なお、切削速度は300m/min、切込みは0.1mm、送りは0.1mm/rev、クーラント吐出圧力は20MPaとした。表5に刃先形状が工具損傷に及ぼす影響を示す。ここで、正常摩耗が生じた場合を記号「○」、欠損が生じた場合を記号「×」で表した。また図6に工具の摩耗状態を示す。図中の上半分が逃げ面、下半分がすくい面である。なお、表5に示した記号「△」

は、図6(a)の損傷状態を示す。

表5より、繰返し回数 $N=10$ 回において正常摩耗が見られたのはcBN IV (0.13mm-45°-0.04mm)のみである。図6(a)に示す(0.13mm-45°-0.02mm)の場合、すくい面に大きな欠損が見られる。このことから、(0.13mm-45°-0.02mm)の刃先形状よりも、図6(b)に示す(0.13mm-45°-0.04mm)の刃先形状の方が、焼入れ鋼SKD11の高圧クーラント断続旋削には有効な刃先形状であることが分かる。

4. おわりに

本稿では、cBN焼結体工具による高硬度材の端面断続旋削に、HPC技術を用いた端面断続高圧クーラント旋削を行った場合の工具損傷について解説した。その結果、ネガランド(ネガランド幅0.13mm、ネガランド角45°)、Rホーニング(R0.04

mm)を使用してHPC技術を用いれば、切削速度300m/minの高速度端面断続旋削が可能であることが分かった。

最後に、本稿で使用したデータには、以下の二つの学術論文^{6)、7)}から引用したデータが含まれている。

参考文献

- 1) たとえば、関本昌利：超高压クーラントによる切りくず処理・工具寿命改善の実際、機械と工具、2015年2月号、日本工業出版。
- 2) たとえば、https://tungaloy.com/jp/press-release/tungturn-jet_psc-vdi_adapter/
- 3) 和田任弘、森合勇介：HPCでハードターニング加工の切削時間短縮を達成、機械と工具、第12巻第7号、日本工業出版。
- 4) 和田任弘、森合勇介：高硬度材の高効率断続切削を達成したHPC加工技術—cBN焼結体の最適結合相の選定—、月刊トライボロジー、2024年3月号(No.439)、新樹社。
- 5) たとえば、和田任弘、森合勇介：切削・研削加工における高圧クーラント供給技術、月刊トライボロジー、2023年3月号(No.427)、新樹社。
- 6) 和田任弘、藤原聡大、森合勇介、島田大嗣：高圧クーラント供給を用いた焼入れ鋼SKD11の断続切削におけるcBNの工具摩耗、日本設計工学会関西支部令和2年度研究発表講演会講演論文集(2021年3月13日開催)。
- 7) Tadahiro Wada: Tool Wear of Cubic Boron Nitride in Intermittent Cutting of Hardened Steel ASTM D2 with High-Pressure Coolant Supply, Applied Mechanics and Materials, Vol. 907, pp. 19-25, DOI: 10.4028/p-5o2e36.