

◆2026年6月10日発行(毎月1回10日発行) 第18巻第6号(通巻183号) 発行:日本工業出版 <https://www.nikko-pls.co.jp>

生産加工技術を支える

機械と工具

2026
6



機械と工具
オンラインマガジン



特集

工具費低減への対応と
材料戦略 & 現場ニーズ
に応える最新切削工具

Groov-tec®
To the max.

 **WALTER**
Engineering Kompetenz



注目技術

HPC技術を用いたSUS304の高能率深穴加工

鳥羽商船高等専門学校／和田 任弘^{*}、(株)トクビ製作所／森合 勇介^{**}

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することができる高圧クーラント（HPC：High-Pressure Coolant）を切削に用いることが注目されている。この方法は、切削工具のすくい面、逃げ面から切削部にクーラントを高圧で供給する方法である。研究代表者らは、高圧クーラント切削¹⁾を行い、切りくず折断に効果があることを示した。また、高硬度材（SKD11（60HPC））の切削²⁾を行い、切りくず折断効果に加えて工具損傷抑制にも効果があることを報告した。さらに、高硬度材の端面断続切削³⁾⁴⁾の工具損傷抑制、研削砥石の日詰まり防止⁵⁾⁶⁾にも効果があることも示した。表1に、HPCで実現できる生産性向上を示す。

このことから、連続あるいは断続切削において、HPC加工技術を用いる効果は、生産性向上の達成に大きな効果をもたらすことが明らかである。さて、ロングドリルによる深穴加工（L/D=40以上）では、切りくずの排出性などが悪くなるため、ドリルのステップ選りが用いられ、作業能率が低下するがHPC加工技術を用いれば、切りくずの排出性が向上するのみならず、工具損傷抑制にも効果がある

と考えられる。しかし、ロングドリルによる深穴加工に高圧クーラントを併用した効果を調べた研究は見あたらない。

本稿では、ロングドリルによる深穴加工の生産性向上・高精度化を達成するために、ドリル穴あけ時に高圧クーラントを併用することを提案し、実証したので、その結果について報告する。具体的には、ドリル径5 mmのロングドリルによる被削材厚さ190 mmの通り穴加工を行い、ドリル先端部の工具損傷ならびに穴軸の曲がり（穴軸における穴中心のズレ）を調べ、通常の深穴加工の場合と比較した。なお、ドリル先端部のオイルホールからのクーラント吐出圧力（以下、クーラント圧力）は20MPaで行った。

2. 実験方法

被削材はステンレス鋼SUS304である。ステンレス鋼SUS304の化学成分を表2に示す。表3にステンレス鋼SUS304の機械的性質を示す。

表4に、ソリッドロングドリルの仕様を示す。表4に示すように、ドリル径は5 mm、L/Dは40、先端角は140°、ねじれ角は約25°（右ねじれ）、工具材はコーテッド超硬合金である。

表1 HPCで実現できる生産性向上

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、および低速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. 研削砥石の日詰まり除去
・日詰まりした砥石のダイヤドレッシングインターバルの延長
5. バリ取り
・機械加工で出たバリをHPCの打力で除去することで工程集約

* WADA Tadahiro／鳥羽商船高等専門学校・客員教授。

** MORIGO Yusuke／(株)トクビ製作所・取締役 統括部長

表2 被削材 SUS304 の化学的成分

								[mass%]
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	
0.05	0.56	0.92	0.034	0.003	8.08	18.17	0.02	

表3 被削材 SUS304 の機械的性質

Tensile strength [N/mm ²]	Yield strength (0.2% offset yield strength) [N/mm ²]	Elongation [%]	Hardness [HBW]
607	284	58	170

表4 ドリルの仕様

Drill type (Flute cross section)	Solid long drill with oil hole (long drill L/D=40, straight shank drill)
Drill diameter	5 mm
Point angle	140°
Helix angle	About 25° (Right hand helix twist drill)
Point	0.9 mm
Overall length	265 mm
Flute length	215 mm
Shank length	49 mm
Shank diameter	5 mm
Tool material	Coated cemented carbide

表5 切削条件

Cutting speed	V = 30, 60, 80 ^{*1} , 90 m/min
Feed rate	f = 0.08 mm/rev
Cutting method	Wet cutting Coolant pressure: 0.2 ^{*2} , 20 ^{*3} MPa
Coolant	Water-soluble cutting fluid (TAIYU Co., LTD., SX-610T) Coolant concentration dilution: 7.5% ± 2.5%

*1: High pressure coolant drilling

*2: Conventional drilling

*3: High pressure coolant drilling

使用工作機械は、立形マシニングセンタ（オーカム機、MILLAC561VII）である。この立形マシニングセンタの主軸動力は11/15 kW、最高回転数は6,000 min⁻¹である。

使用した高圧クーラントユニット（㈱トクビ製作所、HIPRECO185-20）の最大吐出圧力は20 MPa、最大吐出流量は45 L/minである（図1）。

表5に切削条件を示す。使用したクーラントは水溶性切削油剤（タイユ機、SX-610T）で、希釈濃度は7.5 ± 2.5%である。

クーラントは、油穴付きドリルの逃げ面に設けられた油穴から切削部へ供給される。

表5に示した切削条件で高圧クーラントを供給しながらステンレス鋼SUS304（被削材厚さ190 mm）の通り穴加工を行い、工具損傷の状態、穴の曲がり（ドリル軸における穴中心部のズレ）を調べた。なお、1穴ごとの穴深さは、190 mm/穴になる。本



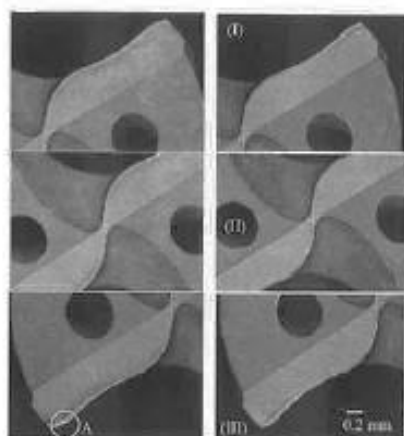
図1 高圧クーラントユニットの外観

研究では、69穴の通り穴加工を行った。この場合、穴深さの合計は、13.11 mになる。

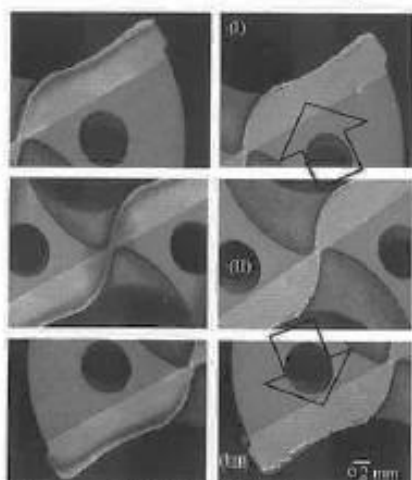
3. 実験結果および考察

3.1 ドリル損傷の状態

図2に、ドリル損傷の状態を示す。図2中の(i), (ii)に、切削速度30、60 m/minの場合をそれぞれ示す。また、(a), (b)に、クーラント圧力0.2、20 MPaの場合をそれぞれ示す。なお、ドリルのチゼル



(a) Coolant pressure : 0.2 MPa (b) Coolant pressure : 20 MPa
(i) Cutting speed : 30 m/min



(a) Coolant pressure : 0.2 MPa (b) Coolant pressure : 20 MPa
(ii) Cutting speed : 60 m/min

図2 ドリル損傷の状態

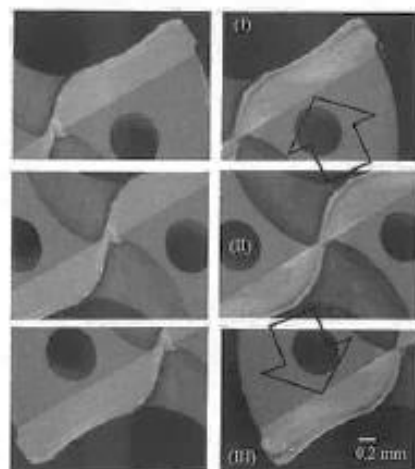
(クーラント圧力P=0.2, 20 MPa, 69穴 (穴深さの全長: 13.11 m))

ルエッジ部を真中 (i)(b)(II) に、2枚の切れ刃を上下 (それぞれi(b)(I)およびi(b)(III) に配置した。(i)に示す切削速度30 m/minの場合、クーラント圧力0.2 MPaと20 MPaを比較すると、クーラント圧力0.2 MPaの方が、切れ刃の逃げ面摩擦耗が若干小さくなっているが切れ刃にチッピングが見られる (Aで囲まれる部分)。それに対し、クーラント圧力20 MPaの場合は、上記のようなチッピングは見られない。(ii)に示す切削速度60 m/minの場合、クーラント圧力0.2 MPaと20 MPaを比較すると、クーラント圧力20 MPaの方が、両切れ刃の逃げ面摩擦耗幅がかなり小さくなっている。また、ここでは示していないが、クーラント圧力0.2 MPaの場合、切削速度を90 m/minに高速にすると、1穴目で、ドリルが折損した。このため、通常のスピンドルスルーによるSUS304の深穴加工では、切削速度60 m/min以下で使用する必要があると考えられる。

図3に、クーラント圧力20 MPaにおけるドリル損傷の状態を示す。前述したように、クーラント圧力0.2 MPaの場合、切削速度90 m/minでドリルの折損が生じた。これに対し、クーラント圧力20 MPaの場合、切削速度90 m/minドリルの逃げ面摩擦耗幅が大きくなるが、穴深さの全長13.11 m (69穴) までの通り穴加工が可能である。

3.2 ドリル穴の曲がり

図4に示すように、穴軸の曲がり (穴軸における穴中心のズレ) を測定した。測定は、形状評価装



(a) Cutting speed : 80 m/min (b) Cutting speed : 90 m/min

図3 ドリル損傷の状態

(クーラント圧力P=20 MPa, 69穴 (穴深さの全長: 13.11 m))

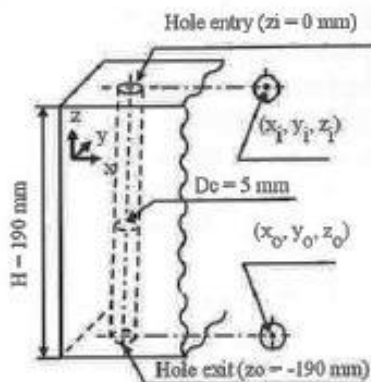


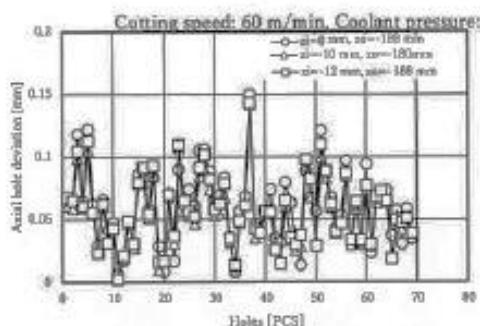
図4 穴軸の曲がり [穴軸における穴中心のズレ]

置 (ミットヨ株式会社, LEGEX574) を用いた。

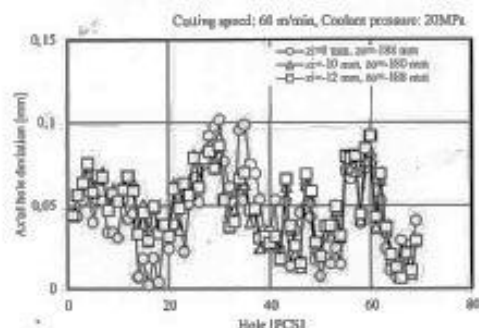
穴の曲がり (Axial hole deviation) は、式(1)によって求めた。すなわち、通り穴の穴入口付近における穴の中心を (x_i, y_i, z_i) 、穴出口付近における穴の中心を (x_o, y_o, z_o) とすると、

$$\text{Axial hole deviation} = \sqrt{(x_o - x_i)^2 + (y_o - y_i)^2} \quad \dots(1)$$

となる。



(a) Coolant pressure: 0.2 MPa



(b) Coolant pressure: 20 MPa

図5 穴数が穴の曲がりおよび標準偏差に影響 (切削速度: 60 m/min)

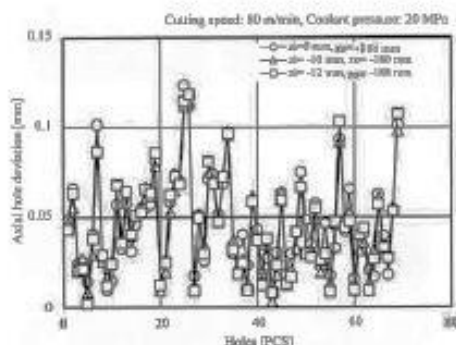
なお、 z_i と z_o 組合せは、($z_i=0$ mm, $z_o=-188$ mm)、($z_i=-10$ mm, $z_o=-180$ mm)、および ($z_i=-12$ mm, $z_o=-188$ mm) の3通りである。

図5に、切削速度が60 m/minの場合における穴数が穴軸の曲がりおよび標準偏差を示す。なお、図5(a)、図5(b)は、クーラント圧力がそれぞれ0.2 MPa、20 MPaの場合である。穴数により穴軸の曲がりおよび標準偏差は変化している。

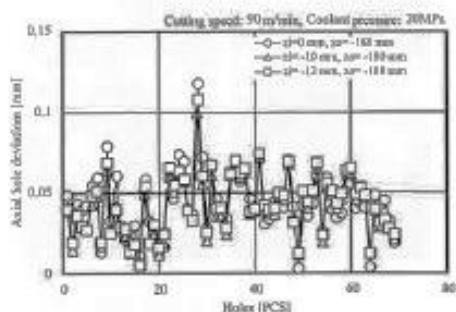
図6に、クーラント圧力20 MPaの場合における穴数が穴軸の曲がりおよび標準偏差を示す。なお、図(a)、図(b)は、切削速度がそれぞれ80 m/min、90 m/minの場合である。

表6に、切削速度が60 m/minの場合における穴軸の曲がりの平均値および標準偏差を示す。なお、クーラント圧力が0.2 MPa、20 MPaの場合である。クーラント圧力が20 MPaの方が、0.2 MPaに比べて、穴軸の曲がりの平均値および標準偏差はともに小さくなっている。

表7に、クーラント圧力20 MPaの場合における穴軸の曲がりの平均値および標準偏差を示す。なお、切削速度が60、80、90 m/minの場合である。



(a) Cutting speed: 80 m/min



(b) Cutting speed: 90 m/min

図6 穴数が穴の曲がりおよび標準偏差に影響 (クーラント圧力: 20 MPa)

表6 穴軸の曲がりの平均値および標準偏差

Coolant pressure [MPa]	0.2		20	
	M.	S. D.	M.	S. D.
$z_i=0$ mm, $z_o=-188$ mm	0.0601	0.0294	0.0445	0.0251
$z_i=-10$ mm, $z_o=-180$ mm	0.0537	0.0264	0.0484	0.0211
$z_i=-12$ mm, $z_o=-188$ mm	0.0569	0.0282	0.0495	0.0210

S. D.: Standard deviation [mm]

M.: Mean [mm]

表7 穴軸の曲がりの平均値および標準偏差

Cutting speed [m/min]	60		80		90	
	M.	S. D.	M.	S. D.	M.	S. D.
$z_i=0$ mm, $z_o=-188$ mm	0.0445	0.0251	0.0461	0.0196	0.0433	0.0196
$z_i=-10$ mm, $z_o=-180$ mm	0.0484	0.0211	0.0443	0.0261	0.0403	0.0182
$z_i=-12$ mm, $z_o=-188$ mm	0.0495	0.0210	0.0446	0.0277	0.0427	0.0189

S. D.: Standard deviation [mm]

M.: Mean [mm]

切削速度90 m/minの方が、切削速度60、80 m/minに比べ、穴軸の曲がりの平均値および標準偏差はともに若干小さくなっている。

4. おわりに

本稿では、ロングドリルによる深穴加工の生産性向上・高精度化を達成するために、深穴加工時にHPC技術を併用した場合と、通常の深穴加工の場合を比較した結果について解説した。その結果、切削速度を90 m/minの場合、クーラント圧力0.2 MPaでは、1穴目でドリルが折損した。これに対し、切削速度90 m/minにおける高圧クーラント切削（クーラント圧力20 MPa）では、ドリルの逃げ面摩擦は、切削速度60 m/min、クーラント圧力0.2 MPaにおける通常の穴あけの場合と同程度となった。このため、HPC加工では切削速度を15倍に高速化することが可能となった。また、切削速度90 m/min、クーラント圧力20 MPaにおける通り穴数

69穴の場合、穴軸の曲がり（ $z_i=0$ mm、 $z_o=-188$ mm）の平均値は0.043 mm、標準偏差は0.020 mmとなった。

以上のことから、ロングドリルによる深穴加工にHPC技術を併用することによって、生産性向上・高精度化を達成することが確かめられた。

参考文献

- 1) 和田任弘、森合勇介：高圧クーラント供給切削の切りくず折断効果、ツールエンジニアリング、2021年10月
- 2) 和田任弘、森合勇介：HPCでハードターニング加工の初期時間短縮を達成、機械と工具、2022年7月
- 3) 和田任弘、森合勇介：高硬度材の高性能連続切削を達成したHPC加工技術、月刊トライボロジー、2024年3月
- 4) 和田任弘、森合勇介：高硬度材のHPC加工における工具の刃先形状の選定、月刊トライボロジー、2025年3月
- 5) 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、2020年5月
- 6) 和田任弘、森合勇介：研削砥石のドレス効果 新手法「HPRドレス」、ツールエンジニア、2023年9月

