ノート

高圧クーラントを援用した 析出硬化系ステンレス鋼の深穴加工

田村　信*　石川　淳*　須藤　貴裕*　相田　収平*

Deep Drilling of Precipitation Hardening Stainless Steel with High Pressure Coolant

TAMURA Makoto*, ISHIKAWA Atsushi*, SUTOH Takahiro* and AIDA Shuhei*

1. 緒　言

各産業分野において，部品の精密化・高機能化がますます進んでおり，それに伴い小径・深穴加工のニーズが高まっている。穴加工の方法としては，ドリル加工，放電加工，レーザ加工などがあるが，加工の汎用性，能率，コストなどの面からドリル加工への要求が高い。しかし，直径の 10～20 倍以上の深穴加工は，通常のドリル加工では，加工点の冷却や切り屑排出のためにステップ工程が必要となり，加工能率が低下する。そこで近年，深穴を高能率にドリル加工する方法として，ドリルの内部に設けた穴から刃先にクーラントを吐出する内部給油型ドリルの利用が進んでいる。内部給油ドリルを用いた加工では，刃先の冷却性が向上することに加え，加工穴からの切り屑排出性が向上することで，ノンステップで安定した深穴加工が可能となる。

本研究では深穴加工の高能率化や低コスト化を目的として，航空機部品などで使用される析出硬化系ステンレス鋼に対する直径 4mm，深さ 100mm（L/D25）の深穴加工を対象に，内部給油型ドリルに高圧クーラントを援用した深穴加工技術について，その有効性を検証した。

2. 試験方法

2.1 供試材

析出硬化系ステンレス鋼は耐食性，耐摩耗性，高強度が要求される航空機材料などとして広く使われている。本研究では，その代表鋼種である SUS630 の中実丸棒（直径 10mm，長さ 105 mm）を使用した。なお，供試材は，固溶化熱処理後（1038℃/AC），析出硬化熱処理（482℃/AC，H900）を施し，硬さは 44HRC である。

2.2 深穴加工試験方法

加工試験に用いた旋削装置の仕様を表 1 に示

表 1 旋削装置仕様

NC旋盤	メーカー 型番	(株)滝澤鉄工所 TCN-213J
	最大加工径/長さ(mm)	370 / 301
	主軸回転速度(min^{-1})	100～5000
	軸移動量 X/Z(mm)	210 / 370
	切削送り速度 X/Z(m/min)	0～20 / 0～24
高圧クーラントユニット	メーカー 型番	小倉クラッチ(株) OJ150BB37-BF
	最大吐出圧力(MPa)	15
	最大吐出量(L/min)	35

表 2 深穴加工条件

工具	メーカー 型番	三菱マテリアル㈱ MVS0400X25S040
	直径(mm)	4
	溝長(mm)	100.7
	先端角度(°)	140
切削条件	切削速度 V(m/min)	60
	クーラント圧 (MPa)	0.1 (通常圧) 1.5，7 (高圧)
	送り f(mm/rev)	0.08，0.24
	クーラント	エマルジョン 10 倍希釈

＊　研究開発センター

す。また本研究における深穴加工条件を表 2 に示す。クーラント圧は 0.1MPa，1.5MPa，7MPa の 3 水準，送りは 2 水準として，高圧クーラントの有効性を検証した。加工試験は同一条件にて 20 穴の加工を行い，加工後のドリルの状態や加工穴の表面性状，また切り屑形状について評価した。加工試験では直径 4mm，深さ 8mm のガイド穴を加工した後，深穴加工を実施した。加工形状を図 1 に，深穴加工の様子を図 2 示す。

3. 試験結果

3.1 高圧クーラントの優位性

表 3 に加工試験結果を示す。送り f0.08mm/rev の場合，いずれのクーラント圧においてもドリルは折損せず 20 穴の加工が可能であった。これに対し f0.24mm/rev の場合，高圧クーラントを援用した加工条件（1.5MPa，7MPa）では 20 穴の加工が可能であったが，通常のクーラント圧 0.1MPa では 1 穴目でドリルが折損した。

図 3 に切り屑の代表的な形態を示す。通常のクーラント圧 0.1MPa の切り屑はジグザグ形を呈している。これは円錐らせん形になるべきものが，ドリル溝や穴内面の拘束を受けて流出が妨げられ排出しきれずに座屈を起こして折りたたまれたもので，詰まりの原因になりやすい形態 [1]である。それに対し，高圧クーラントを援用した 7MPa の切り屑は，長さ 2mm 程度に分断されており，排出性の良い形態をしている。このことから高圧クーラントを援用することにより切り屑が分断され，切り屑排出性が高まり，ドリル折損の抑制に有効であることを確認した。

さらに，加工試験後のドリルの状態を図 4 に示す。切れ刃にはいずれの条件においてもコーティングの剥離が観察された。一方，チゼルエッジには f0.08mm/rev，クーラント圧 0.1MPa において頂部に大きな面積の剥離が観察されるが，他の条件においては頂部周辺に剥離が観察されるものの，頂部の剥離は観察されなかった。加工中のチゼルエッジでは，被削材の塑性変形による除去加工となっており，スラスト方向に大きな圧力が加わることに加え，高温になるために損傷しやすいが，高圧クーラントによる冷却によりチゼルエッジ頂部のコーティングの剥離を抑制できたものと考えられる。

これらの結果から高圧クーラントを援用することにより高能率な加工が可能になることを確認した。

3.2 品質評価

穴内面の表面粗さについて，加工した 20 穴のうち 1 穴目，5 穴目，10 穴目，15 穴目および

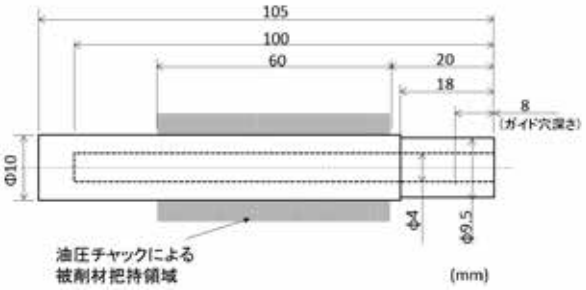


図 1 加工形状

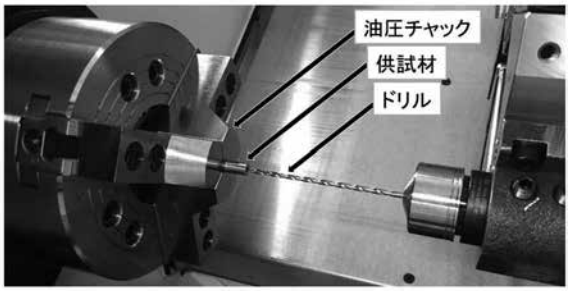
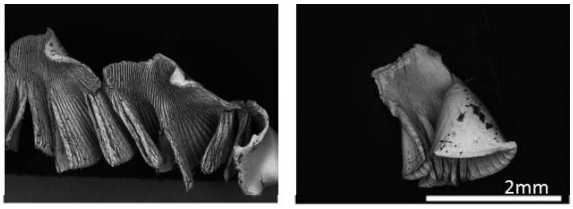


図 2 加工の様子

表 3 加工試験結果

送り	クーラント圧		
	0.1MPa	1.5MPa	7.0MPa
0.24mm/rev	×(1)	○	○
0.08mm/rev	○	○	○

※加工穴数:20(○:20 穴加工完了，X:折損，折損時穴数)



f0.08mm/rev_0.1MPa　　f0.08mm/rev_7MPa

図 3 代表的な切り屑形態

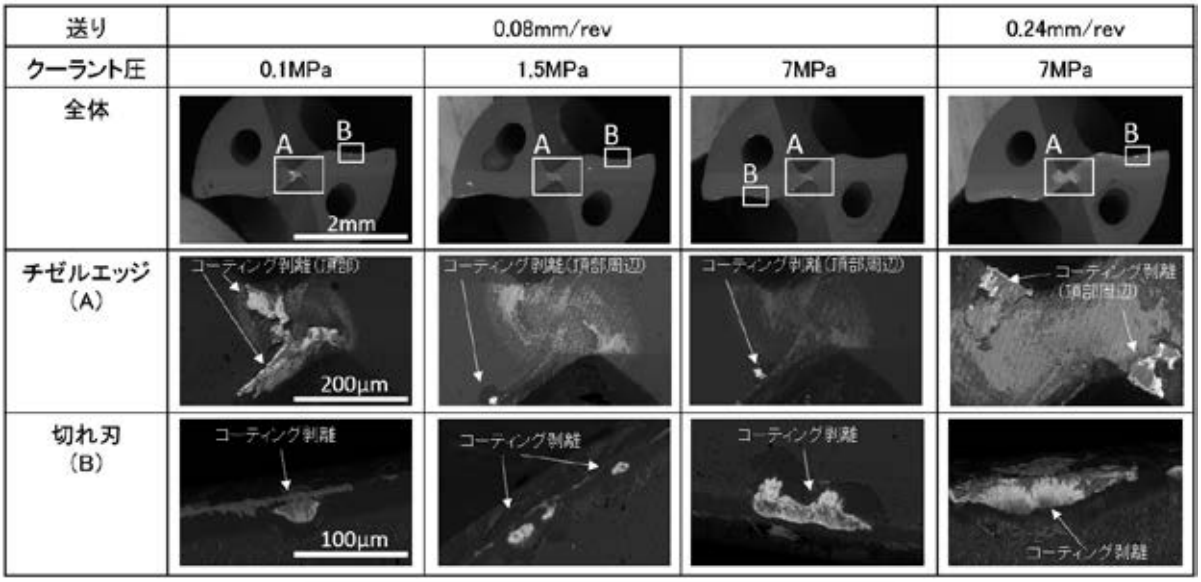


図 4　20 穴加工後のドリル摩耗の状況

20 穴目を抽出して測定した。図 5 に測定した 5 穴の平均値とばらつきを示す。また，図 6 には光学顕微鏡による穴内面の観察写真を示す。いずれの加工条件においても算術平均粗さ Ra が 1.0μm 未満の良好な面性状が得られている。しかし，クーラント圧や送りが高いほど表面粗さが悪くなる傾向がある。観察写真からも穴内面には回転方向の傷が観察され，表面粗さ測定結果と同様にクーラント圧が高く，送りが高いほど顕著に観察される。

この原因のひとつとして，クーラント圧が低いときは切り屑がドリル溝に沿って緩やかに押し出されるが，クーラント圧が高くなると分断された切り屑が強制的に速い速度で噴出するため，加工穴内面に擦過痕がついたものと考えられる。

本加工試験では，クーラント圧が高いほど加工面品位が悪化したが，切り屑の流出を滑らかにするようなドリル溝形状や切り屑の大きさをコントロールする切れ刃形状などを検討することで加工面品位を改善できる可能性がある。

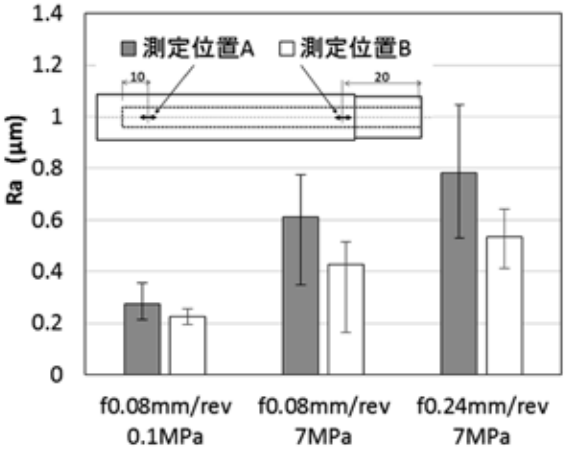


図 5　表面粗さ測定結果
（5 穴の平均値とばらつき）

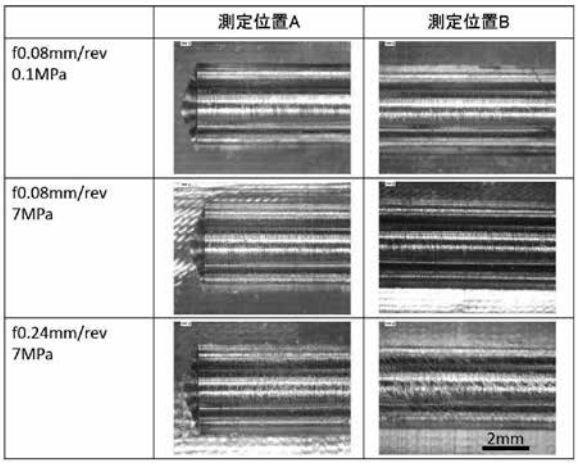


図 6　穴内面の観察写真

4. 結　　言

(1) 内部給油型ドリルを用いた SUS630 の深穴加工において，高圧クーラントを援用する

ことにより切り屑排出性が高まる。さらに，チゼルエッジの摩耗が抑制される効果があることから，高能率化が可能である。

(2) 内部給油型ドリルを用いた SUS630 の深穴加工において，高圧クーラントを援用する場合に加工穴内面の表面粗さが悪化する傾向を示すことから，今後，切り屑の流出を滑らかにするようなドリル形状の検討が必要である。

参考文献

1) 切削工具，三菱マテリアル（株），（2013-2014），p.Q026.