ノート

高圧クーラントを援用した超耐熱合金の外径旋削加工

石川　淳*　田村　信**

Turning of Super Heat Resistant Alloy with High Pressure Coolant

ISHIKAWA Atsushi* and TAMURA Makoto**

1.　緒　　言

超耐熱合金は，高温雰囲気での機械的強度や化学的安定性に優れることから，航空機部品などに用いられている。しかし，切削加工においては，高温高強度と低熱伝導率の特性によって，切削温度（工具と被削材の接触面温度）が高くなることから，切削速度を上げることができず，製造コスト削減のネックとなっている。

そこで，超耐熱合金インコネル 718 の外径旋削加工試験を行い，高圧クーラントを援用することによる切削温度の低減効果を工具被削材熱電対法によって推測するとともに，工具寿命や加工面品位向上への効果について検証した。さらに高圧クーラントの援用について，電力と工具コストの面から評価した結果について報告する。

2.　旋削加工の仕様

2.1　旋削装置

滝澤鉄工所製 CNC 旋盤 TCN-213J を用いて，インコネル 718 の外径旋削加工試験を行った。旋盤には，通常外部供給クーラント機能（標準ポンプによる外部ノズルから加工部への供給方式，吐出口 63mm×3mm）のほか，最大吐出圧力 15MPa の高圧クーラントユニットが付属する。高圧クーラントは，図 1 に示す工具ホルダのノズルから，加工点に向けて供給される。表 1 にクーラント圧力とクーラント流量およびノズル吐出口におけるクーラント流速の関係を示す。流量は実測値，流速は流量からの計算値である。

*　研究開発センター
**　中越技術支援センター

2.2　外径旋削加工条件

表 2 に旋削加工条件を示す。切削速度については，工具メーカのカタログ推奨範囲の高速側の速度条件とした。通常外部供給クーラントに対して，クーラント供給圧力を高圧の 3MPa，7MPa，15MPa として加工した場合の効果を検証した。

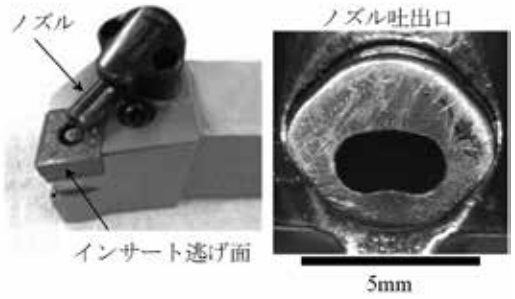

図 1　工具ホルダの外観

表 1　クーラント圧力と流量・流速

クーラント圧力	流量（L/min）	流速（m/sec）
通常外部供給	18	1.6
高圧3MPa	11	4.3
高圧7MPa	17	6.9
高圧15MPa	25	10

表 2　旋削加工条件

切削速度V (m/min)	80			
送りf (mm/rev)	0.2			
切込み量ap (mm)	1			
工具インサート	CNMG120408 コーティング超硬			
クーラント液	エマルション10倍希釈			
クーラント圧力(MPa)	通常 外部供給	3	7	15
被削材	インコネル718　溶体時効材 （直径65mm×長さ85mm）			

3. 切削温度の推測

加工時に工具と被削材の接触部で生じる熱起電力を測定することによって，切削温度を求める工具被削材熱電対法を用いて，インコネル 718 の外径旋削加工における切削温度を推測した。測定の概略図を図 2 に示す。熱起電力測定では，ノンコート超硬工具インサートを用い，同種棒材を介してリード線と接続し，また回転する被削材には同種材の薄板を接触させた状態でリード線と接続することによって，切削領域以外で熱起電力が生じないようにした。

また，熱起電力と温度の関係は，別途超硬とインコネル 718 の接点をハロゲンスポットヒータを用いて加熱して，熱起電力を測定すると同時に，熱電対を用いて接点近傍の温度を測定することによって求めた。

図 3 に通常外部供給クーラントでの加工と高圧クーラント援用加工の場合での切削温度推測値の比較を示す。通常外部供給において切削温度が約 1200℃となるのに対して，高圧クーラント援用によって，切削温度は低減し，本加工条件においては，クーラント圧力に比例して 60～90℃程度の低減効果があることを推測できた。

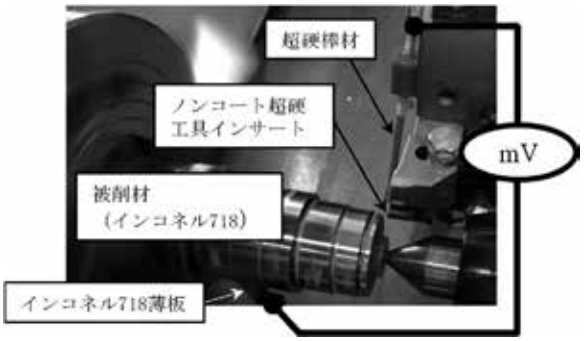

図 2　熱起電力測定の概略図

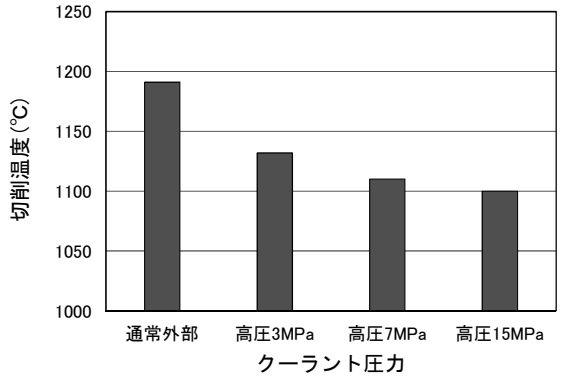

図 3　切削温度推測値の比較

4. 工具寿命の比較

工具寿命試験を行い，工具インサートの寿命に対する高圧クーラント援用の効果を検証した。寿命試験は，加工の進行に伴う工具インサートの最大逃げ面摩耗幅 V_B を測定することによって行った。図 4 に切削距離 L と最大逃げ面摩耗幅 V_B の関係を測定したグラフを示す。通常外部供給クーラントの場合は，V_B の進行は早く，かつ直線的に増加している。一方，高圧クーラント援用の場合は，V_B の進行が抑制されているのが明瞭にわかる。ここで，工具寿命判断を V_B=0.2mm とすると，通常外部供給クーラントでは L=170m が工具寿命であるのに対して，クーラント圧力 3MPa では L=470m，7MPa では L=435m，15MPa では L=320m となり，工具寿命に至るまでの切削距離 L が伸びている。ここで，クーラント圧力の低い 3MPa の場合が最長であるが，寿命判断後に V_B が急増する。一方，7MPa と 15MPa では寿命判断後もしばらくは V_B が漸増する傾向にあることから，一概に 3MPa が最良とは判断できない。いずれにせよ高圧クーラント援用による切削温度の低減が，工具インサート寿命延伸につながったものと考える。

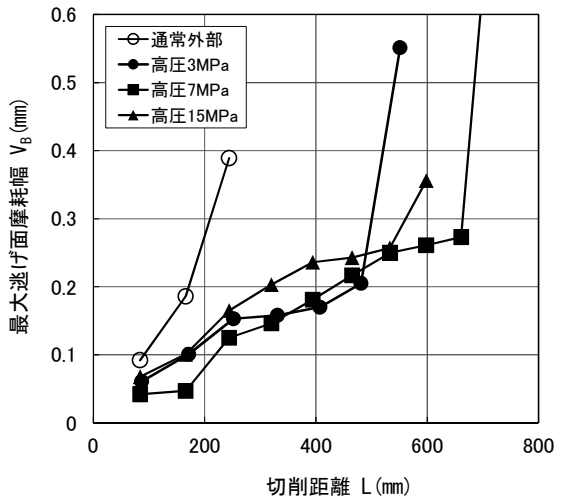

図 4　工具寿命試験の結果

5. 加工面残留応力の比較

加工面の残留応力は，疲労強度に影響し，圧縮応力が有益であるといわれている。一方，加工面の残留応力の発生には，加工時の熱的作用が大きくかかわることから，高圧クーラント援用によって，加工面の残留応力に変化が現れるか確認した。残留応力の測定条件を表 3 に示す。表 1 に示した条件で旋削加工した円筒（直径 60mm，長さ 50mm）端面について，切削送り方向（端面径方向）の残留応力を測定した。

測定結果を表 4 に示す。通常外部供給クーラントの場合と高圧クーラント援用における旋削加工面の残留応力は，クーラント圧力が異なってもほぼ同一の引張の応力値を示した。本加工条件においては，高圧クーラント援用による加工面の残留応力の改善につながる効果は確認できなかった。

6. 加工コストの比較

高圧クーラント援用による工具インサート寿命の延伸を確認したが，加工コストとしてメリットがあるか試算した。表 2 に示した旋削加工

表 3　残留応力測定条件

測定装置	X線応力測定装置リガクSSD/MSF-3M
X線源	Cr
測定法・走査法	Ψ_0一定法・並傾法
無歪回折角(deg)	129
Ψ角(deg)	0～45 ($\sin^2\Psi$等間隔6点)
解析手法	$\sin^2\Psi$法
応力定数(MPa/deg)	- 645

表 4　旋削加工面の残留応力測定結果

クーラント圧力	残留応力測定値(MPa)
通常外部供給	+ 560
高圧3MPa	+ 549
高圧7MPa	+ 583
高圧15MPa	+ 545

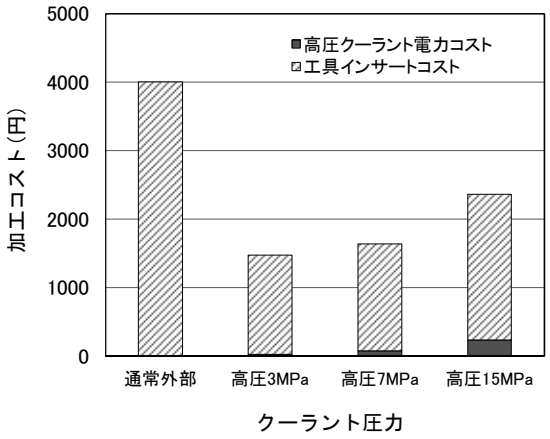

図 5　加工コストの比較

条件で，1 時間加工した場合の高圧クーラント供給に要する電力コストと工具インサートコストを求めた。電力コストについては，高圧クーラントユニット稼働時の有効電力を測定し，電気料金単価（仮定 20 円／kWh）を乗じて求めた。工具インサートコストは，工具寿命試験結果から，1 時間の加工（切削距離約 4800m）に必要な工具インサート数を算出し，工具インサート単価（142 円／コーナ）を乗じて求めた。加工コストの算出結果を図 5 に示す。本加工条件においては，工具寿命延伸効果が大きかったことから，高圧クーラント供給に要する電力コストが相対的に小さくなり，加工コストとして高圧クーラント援用によるメリットが明確に現れた。

7. 結　　言

(1) インコネル 718 の外径旋削加工における切削温度を工具被削材熱電対法によって求め，3～15MPa の高圧クーラント供給によって，切削温度が 60～90℃程度低減できることを推測した。

(2) 高圧クーラント援用による工具インサート寿命延伸効果を確認した。しかし，加工面残留応力への効果は現れなかった。

(3) 高圧クーラント供給に係る電力コストを考慮した加工コストを比較し，高圧クーラント援用によるコストメリットを明らかにした。