ノート

高圧クーラント援用によるチタン合金の高能率旋削加工

田村　信*　菅野　明宏*　須藤　貴裕*

High Efficiency Turning of Titanium alloy with High Pressure Coolant

TAMURA Makoto*, KANNO Akihiro* and SUTOH Takahiro*

1. 緒　　言

チタン合金は比強度が高く，耐食性が優れていることから，航空機部品など高い機能が求められる分野で広く採用されている。しかし，熱伝導率が低いため，切りくずや被削材側へ切削熱が逃げにくく，切削温度が上昇しやすい。そのため切削速度を上げられず，加工能率の向上が課題となっている。

その課題への対応として，近年は高圧クーラントの活用が進められている。クーラントを高圧で加工点近傍へ供給することで，加工点の冷却による工具摩耗の低減や切りくずの分断を促進する。この結果，様々な被削材に対して高能率化や工具寿命延伸などの効果が報告されている[1)]。

一方で，加工時の温度上昇の程度によってはクーラントが沸騰する[2)]ことや，排出される切りくずの形態により，加工点近傍まで十分にクーラントが供給されない場合がある。これらに対して，クーラントを加工点近傍まで到達させるために，工具にテクスチャ加工を施すといった研究も行われている[3)]。

本研究では，チタン合金の旋削加工の高能率化に向けて，インサートのすくい面にクーラントの流路となる溝を付与することで加工点近傍へのクーラント供給の促進を検討した。ここでは旋削加工試験により，すくい面の溝が切削三分力と工具寿命に及ぼす影響を調べ，その効果を検証した。

* 研究開発センター

2. 旋削加工試験方法

旋削加工試験では，CNC 旋盤 TCN213J（(株)TAKISAWA 製）を使用した。本装置には，最大吐出圧力 15MPa の高圧クーラントユニットが付属している。図 1 に工具ホルダの外観を示す。クーラントは，工具ホルダのノズルからインサートすくい面側の加工点に向けて供給される。

被削材はチタン合金 Ti-6Al-4V とし，インサートにはバインダレス cBN を用いた。バインダレス cBN は，従来の cBN 材種と比べて高硬度かつ耐熱性に優れている[4)]。図 2 にインサートのすくい面部分を示す。図 2(a)は市販のインサート（以下，通常インサートと呼ぶ）である。本

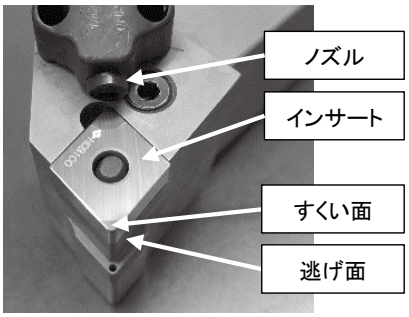
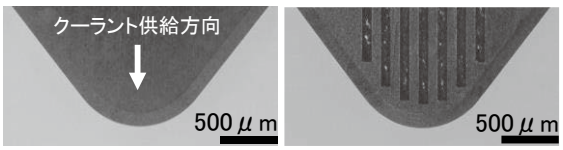


図 1　工具ホルダの外観



(a)通常インサート　　(b)溝付きインサート

図 2　インサートのすくい面

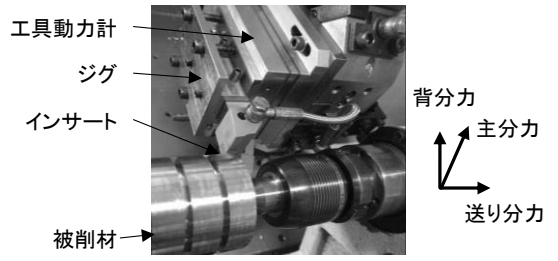


図 3　切削三分力の測定方法

表 1　試験条件

被削材	チタン合金(Ti-6Al-4V)	
インサート	バインダレスcBN NU-CNGA120408:NCB100 (住友電工ハードメタル(株)製)	
切削速度(m/min)	分力測定	100
	寿命試験	300，500
送り(mm/rev)	0.1	
切込み量(mm)	0.5	
クーラント液	水溶性切削油（濃度10%）	
クーラント 吐出圧力	分力測定	通常圧，高圧3，5，7，15MPa
	寿命試験	通常圧，高圧7，15MPa

研究では，インサートにクーラント供給方向に沿って幅 0.1mm で深さ 0.1mm の矩形溝を付与した（図 2(b)）。そして，通常インサートと溝を付与した溝付きインサートを用いて切削加工試験を行い，それぞれの切削三分力および工具寿命を比較した。

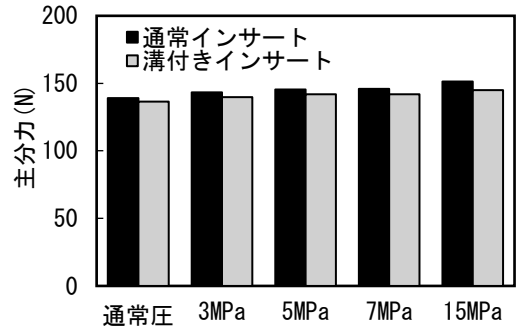
図 3 に切削三分力の測定方法を示す。測定は，工具動力計 9257B（日本キスラー(同)製）を用いて，ジグを介して工具ホルダを取り付けた。

表 1 に加工試験の条件を示す。切削三分力の測定は切削速度 100m/min で行った。工具寿命試験は工具メーカーが推奨している切削速度の上限である 300m/min と，さらなる高能率化を見据えて 500m/min の 2 条件で行った。

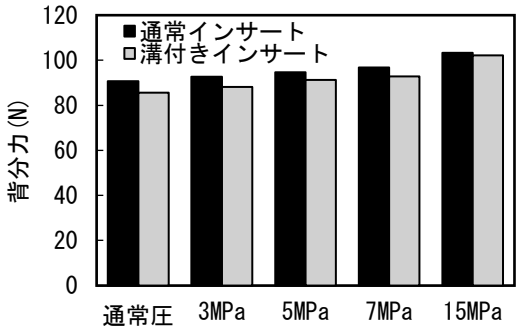
3.　切削三分力の測定結果

図 4 に切削三分力の測定結果を示す。いずれの吐出圧力の条件においても，溝付きインサートは通常インサートに比べて，三つの分力全てが低減することが確認できた。特に送り分力の低減が顕著であり，吐出圧力が 3MPa，5MPa および 7MPa の条件で 10～20%の低減が見られた。

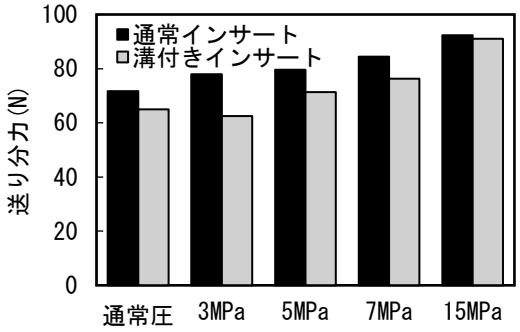
この送り分力低減の主な要因として，すくい面の摩擦係数の低減と切りくずを持ち上げる効果が挙げられる。送り分力は，すくい面の水平方向に作用する力であり，摩擦の影響を大きく受ける。そのため，すくい面の溝がクーラントの流れを制御し，加工点近傍までクーラントが到達したことで潤滑性が向上したと考えられる。さらに，加工点近傍に到達したクーラントがくさびのような役割を果たし，切りくずを持ち上げることで接触面積が減少し，その結果，送り分力の低減効果がより顕著になったと推察される。



(a)主分力

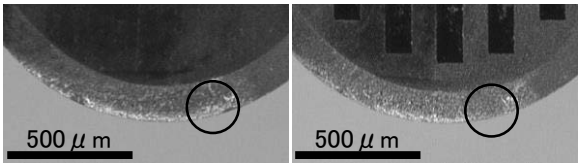


(b)背分力



(c)送り分力

図 4　切削三分力の測定結果



(a)通常インサート　(b)溝付きインサート

図 5　刃先の状態(吐出圧力 15MPa)

なお，吐出圧力 15MPa において，溝付きインサートは通常インサートに比べ，送り分力の減少が約 2%にとどまった。これは，吐出圧力の上昇に伴いクーラントの供給量が増加し，通常のインサートでも加工点近傍の潤滑および冷却が十分に行われたことで，溝の効果が相対的に低下したものと考えられる。

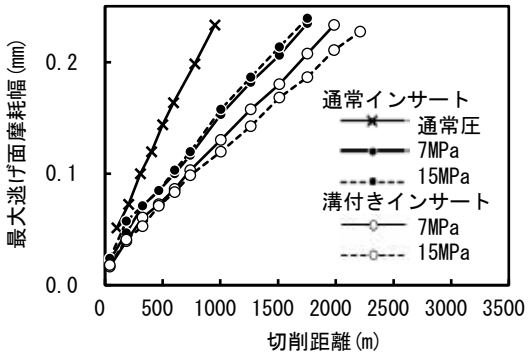
一方で，吐出圧力 15MPa の主分力は，他の吐出圧力条件と比較して低減効果が大きかった。この要因は，図 5 の円で示した箇所のように，溝付きインサートでは刃先への被削材の付着が減少し，刃先の鋭利な状態が維持されたことで切削抵抗が低減したものと推察される。

4.　工具寿命試験の結果

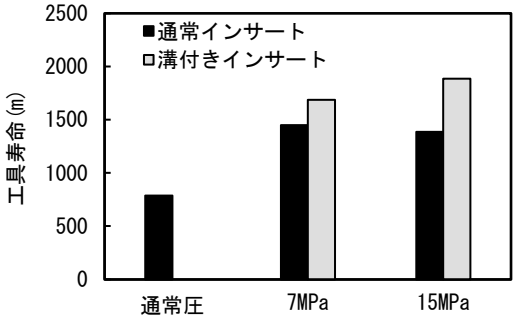
4.1　切削速度 300m/min

図 6 に，切削距離と最大逃げ面摩耗幅の関係および最大逃げ面摩耗幅 0.20mm を基準として求めた工具寿命を示す。通常インサートの工具寿命は，吐出圧力 7MPa では通常圧と比較して 84%延伸したが，吐出圧力 15MPa に増圧してもさらなる延伸効果は見られなかった。一方で，溝付きインサートの工具寿命はさらに延伸し，通常インサートの通常圧に比べて吐出圧力 7MPa で 115%に，吐出圧力 15MPa で 140%の延伸を示し，吐出圧力の増加による効果が顕著に現れた。

この結果から，クーラントがすくい面に付与した溝を通じて加工点近傍へ到達し，吐出圧力の増加が効果的に作用したものと考えられる。

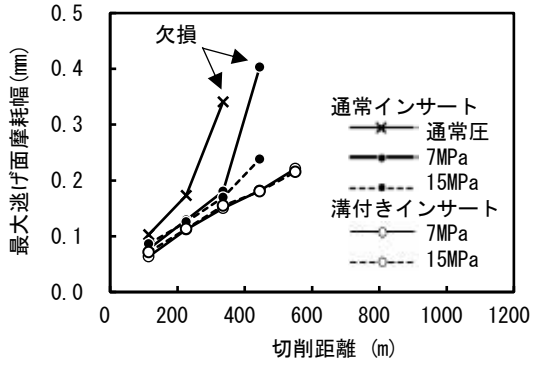


(a)切削距離と最大逃げ面摩耗幅の関係

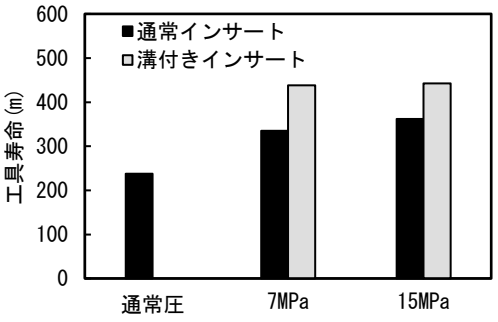


(b)工具寿命

図 6　切削速度 300m/min



(a)切削距離と最大逃げ面摩耗幅の関係

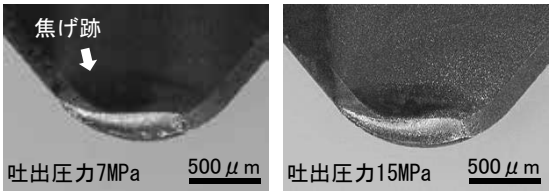


(b)工具寿命

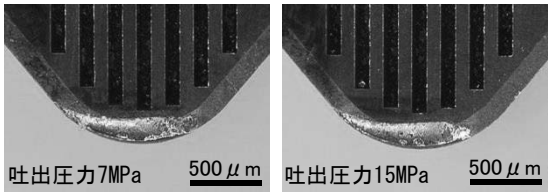
図 7　切削速度 500m/min

4.2　切削速度 500m/min

図 7 に，切削距離と最大逃げ面摩耗幅の関係および工具寿命を示す。通常インサートは，通



(a)通常インサート



(b)溝付きインサート

図 8　切すくい面焦げ跡
（切削速度 500m/min）

常圧および吐出圧力 7MPa での工具寿命試験の終盤に先端欠損が生じた。一方，冷却効果が高いと考えられる吐出圧力 15MPa では欠損は生じていない。また，同様に冷却効果が高いと考えられる溝付きインサートでは，いずれの吐出圧力でも欠損は生じなかった。このことから，高圧クーラントの援用および溝付きインサートを使用することで冷却効果が高まり欠損に対する耐性が高まったものと考えられる。

なお工具寿命は，欠損が生じる前の最大逃げ面摩耗幅 0.18mm を基準として求めた。通常インサートの工具寿命は，吐出圧力 7MPa では通常圧と比較して 40%延伸し，吐出圧力 15MPa では 52%延伸した。一方，溝付きインサートは通常インサートと比べて工具寿命が，吐出圧力 7MPa で 84%延伸，吐出圧力 15MPa で 86%延伸したものの，吐出圧力による大きな差異は見られなかった。

図 8 にすくい面焦げ跡の観察画像を示す。通常インサートでは，吐出圧力を 7MPa から 15MPa に増圧すると，焦げ跡の領域が刃先に向かって縮小していることがわかる。また，溝付きインサートの吐出圧力 7MPa では，通常インサートの 15MPa よりも焦げ跡がさらに刃先方向へ縮小している。このことから，溝形状の付与によりクーラントが加工点近傍まで到達し，冷却および潤滑効果が向上したことで，工具寿命が延伸したと考えられる。

また，溝付きインサートの 15MPa では，焦げ跡の領域が溝付きインサートの 7MPa とほぼ同程度であり，増圧によっても縮小していない。これは，切削速度が高速であることで切削温度が高温になったことや，切削速度の増加にともなう切りくずの形態変化およびすくい面の摩耗形態の影響によるものと推察される。

5. 結　　言

(1) インサートのすくい面に溝形状を付与することで，切削三分力が低減することを確認した。

(2) 高圧クーラント援用加工において，溝付きインサートは通常インサートと比べて，工具寿命が延伸することを確認した。

(3) すくい面の溝が加工点近傍へのクーラント供給を促進し，冷却および潤滑効果が生じたと推察され，加工能率の向上へ寄与するものと考える。

参考文献

1) 例えば, 田村信ほか, “高圧クーラントによる析出硬化系ステンレス鋼の高能率旋削加工”, 工業技術研究報告書, no.45 (2015), pp.48-50.

2) 松本航ほか, “切削性能に及ぼすジェットクーラントの効果”, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 (2016), pp.705-706.

3) 例えば, 長谷川充ほか, “テクスチャ技術を用いた Ti-6Al-4V 高速加工の研究”, 精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 (2019), pp.636-637.

4) 植田暁彦ほか, “難削材仕上げ加工用スミボロンバインダレス工具”, 住友電工テクニカルレビュー, no.198 (2021), pp.15-21.