

砥石内研削液供給によるチタン合金の研削面特性

東京農工大学 ○豊川澄斗, 中塚永敏, 平和産業株式会社 日下部篤史,
東京農工大学 ○笹原弘之

要旨

本研究では、研削が困難とされているチタン合金Ti-6Al-4Vに対して、砥石の内側から加工点へ研削液を供給する場合の加工面への影響を明らかにすることを目的とする。本機構と外部ノズルによる研削液供給において、研削距離と切込み深さを変化させて研削加工を行い、チタン合金の加工面の粗さや残留応力への影響を調べた。

1. 緒言

チタン合金は、高耐熱、高比強度なことから、特に軽量化が求められる航空宇宙分野において多用されている。しかし熱伝導率の低いチタン合金は切削加工時、切れ刃に切削熱が集中するため工具摩耗が著しく、工具寿命が短くなることから難削材とされている。

現在、超耐熱合金等の難削材に対する高効率、高精度な加工法として研削加工が提案されている¹⁾。しかし前述の通りチタン合金は熱伝導率が低く、研削点の温度は上昇しやすい。そのため研削焼けが生じやすく製品の品質を低下させてしまう。

本研究では砥石内部から研削液を供給し同時多軸制御工作機械で研削加工を行う砥石内研削液供給機構の研究・開発を進めている。この機構により、研削液供給用のノズルが不要となり、砥石周りに発生する空気層の影響を受けにくく、研削液が加工点に直接的に供給可能となる。従来の研究において、鋼材を用いて本手法と研削液を外部ノズルから供給する通常的手法との比較を行い、加工点温度や研削抵抗の低減、砥石摩耗の抑制などの様々な優位性が示されている²⁾。そこで本研究では、チタン合金に対して、砥石内研削液供給と外部ノズルによる研削液供給において研削加工を行い、加工面の残留応力、表面粗さに及ぼす影響を調べ、砥石内研削液供給の優位性を示す。

2. 研削距離と研削面特性の関係

砥石内研削液供給のチタン合金に対する加工面への影響を明らかにするために、砥石内研削液供給と通常の外部ノズルによる研削液供給で研削した際の表面特性を比較した。表1に実験条件を示す。

Table 1 Grinding conditions

Type of coolant supply	External, Internal	
Type of grinding wheel	GC Vitrified Bonded	
Grinding velocity V	m/s	20
Feed rate v	mm/min	500
Depth of cut d	mm	0.02
Grinding fluid	Emulsion type	
Amount of coolant supply Q_{total}	L/min	10
Grinding method	Down	
Material of work piece	Ti-6Al-4V	

被削材にはチタン合金の中で広く利用されているTi-6Al-4Vを使用している。研削液供給方法は砥石内研削液供給および通常の外部ノズルからの研削液供給を用いた。図1に砥石内研削液供給による研削加工における工具の構造を示し、図2に実験装置の概略を示す。被削材の加工部分は幅12mm、長さ500mmである。長さ420mmの試験片と動力計に取り付けた長さ80mmの試験片を並べて設置し、合わせて500mmを1パスとする研削加工を行い同時に研削力を測定した。

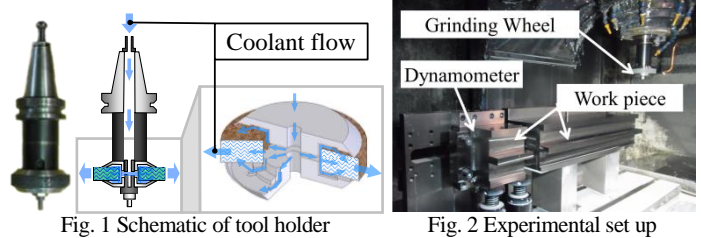


Fig. 1 Schematic of tool holder

Fig. 2 Experimental set up

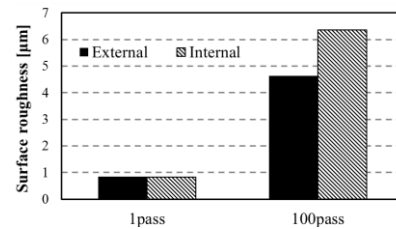
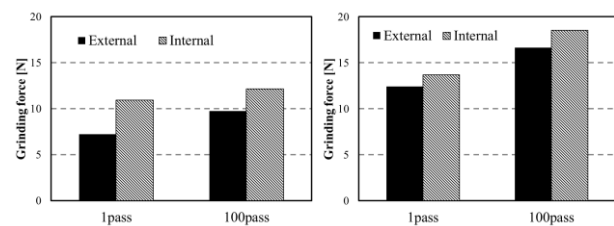


Fig. 3 Surface roughness

図3に送りに垂直な方向の表面粗さを示す。1パスでは差があまりないが加工距離が長くなるにつれて砥石内研削液供給の場合の粗さが大きくなった。図4に研削抵抗を示す。いずれの研削液供給方法でも研削距離が増加すると同時に研削抵抗も増加することがわかる。また研削距離によらず、砥石内研削液供給より外部ノズルによる研削液供給の研削抵抗が小さくなった。切込み深さ0.02mmの際は接触弧が小さく、研削液が360°全方向に広がる砥石内研削液供給より、研削液のほとんどが加工点に注がれる外部ノズルによる研削液供給の研削抵抗が小さくなったと考えられる。研削抵抗の増加は一般に砥石の切れ味低下を示しており、表面粗さも研削抵抗が大きい砥石内研削液供給の方が大きくなった。

そこで研削砥石に着目する。図5に100passの加工を行った後の砥石表面写真を示す。同図(a)は外部ノズルによる研削液供給、(b)は砥石内研削液供給の場合である。枠で囲われた箇所は切りくずによる目づまり部分を表し、パーセントで表した数値は画像内の目づまりの割合を示す。目づまりの割合は砥石内研削液供給が2.9%であり、外部ノズルによる研削液供給の16.9%に比べ小さな値となった。砥石内部から研削液を供給することで切りくずを効率的に排出し、目づまりを回避できていることがわかる。



(a) Principal force

(b) Thrust force

Fig. 4 Grinding force

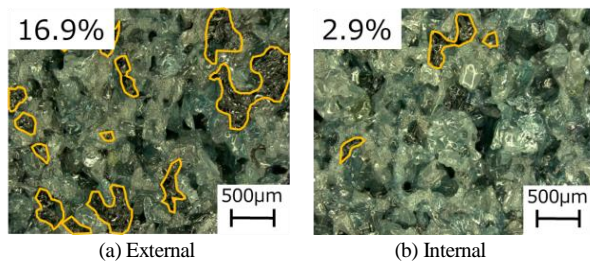


Fig. 5 Surface of grinding wheel

さらに、砥粒の目こぼれを評価するために砥石半径減少量を測定した。図6に研削距離と砥石半径減少量の関係を示す。砥石半径減少量は研削距離に関わらず砥石内研削液供給の方が大きかった。これは図4に示した通り、砥石内研削液供給の方が研削抵抗が大きく、各砥粒へかかる負荷も大きくなり、脱落する砥粒が増え砥石半径がより小さくなったと考えられる。

図7には100passの加工を行った際の残留応力の変化を示す。いずれの研削液供給方法でも残留応力は圧縮となった。研削液供給方法に着目すると、研削距離に関わらず砥石内研削液供給の方が外部ノズルによる研削液供給より圧縮残留応力は大きくなった。外部ノズルによる研削液供給に比べ砥石内研削液供給の圧縮残留応力が増加する要因として、図4に示したように研削時の背分力が増加することが考えられる。増加した背分力により加工表面を押しならし、塑性変形させることで加工表面層に圧縮残留応力を生成させていると考えられる。

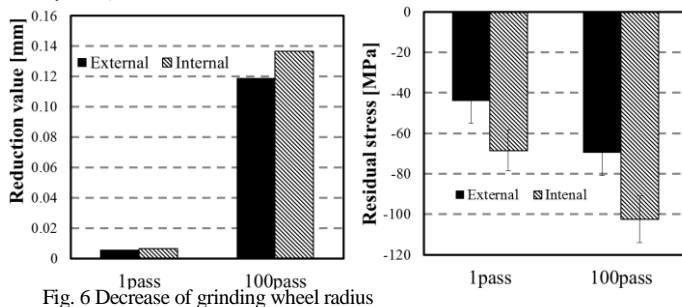


Fig. 6 Decrease of grinding wheel radius

Fig. 7 Residual stress on the ground surface

3. 切込み深さと研削面特性の関係

チタン合金の研削加工において、外部ノズルによる研削液供給と砥石内研削液供給で、切込み深さを変化させ研削面特性の比較を行った。実験条件を表2に示す。

図8に切込み深さを変化させた際の研削表面の残留応力を示す。研削液供給方法によらず残留応力は切込み深さ0.06 mmまで圧縮となったが、切込み深さ0.07 mm以降では状況が変化し引張となった。

図9に切込み深さを変化させた際の研削抵抗を示す。研削抵抗は切込み深さが大きくなるにつれ主分力・背分力ともに増加することがわかる。2章では研削抵抗の増加とともに圧縮残留応力が大きくなると述べた。図8においても外部ノズルによる研削液供給では切込み深さ0.04 mm、砥石内研削液供給では0.05 mmまで圧縮残留応力が大きくなった。しかしこの切込み深さを超えると残留応力は引張方向に増加し、いずれの研削液供給方法でも切込み深さ0.07 mmから残留応力は引張となる。接触弧は切込み深さ増加に伴い大きくなり、切込み深さ0.07 mmからチタン合金が酸化する温度に達し、途端に

Table 2 Grinding conditions

Type of coolant supply	External, Internal	
Grinding velocity V	m/s	
Feed rate v	mm/min	
Depth of cut d	mm	
Grinding fluid	Emulsion type	
Amount of coolant supply Q_{total}	L/min	
Grinding method	Down	

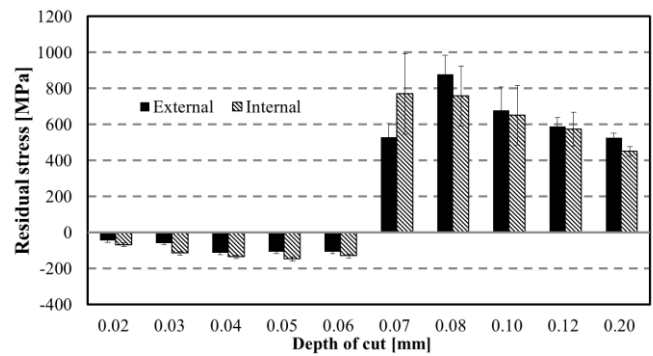


Fig. 8 Residual stress on the ground surface

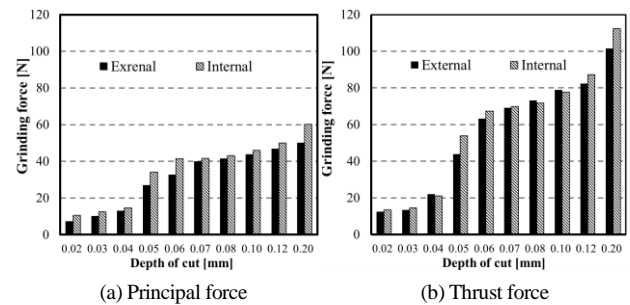


Fig. 9 Grinding force

残留応力が引張になったと考えられる。加工面にもうっすら焼けが観察できた。このことから残留応力は加工点がある一定の温度を超すと酸化し、背分力による押しならしが打ち消されるほどの熱応力により残留応力は引張になる。

4. 結論

本報告では、チタン合金 Ti-6Al-4V を砥石内研削液供給と通常外部ノズルによる研削液供給での研削加工した際、研削距離と切込み深さを変化させて残留応力、表面粗さの比較を行った。その結果以下のような点が明らかになった。

- (1) 切込み深さ0.02 mmでは目詰まりよりも目こぼれが表面粗さ・砥石半径減少に影響していることを示した。
- (2) 外部ノズルによる研削液供給は切込み深さ0.04 mm、砥石内研削液供給は0.05 mmまで増加した際、残留応力が圧縮に増加することがわかった。
- (3) 研削液供給方法によらず切込み深さが0.07 mmを超えると研削表面の残留応力は引張になることがわかった。

参考文献

- 1) 中島利勝, 宇野義幸, 茅原雅之, 難削材の円筒プラン時研削加工の研究, 精密機械, 49, 10, (1983), pp.1358-1363
- 2) 八尾泰弘, 李志, 中江慶吾, 笹原弘之, 砥石内研削液供給方式による研削液の少量化とその効果, 精密工学会誌, Vol. 78, No. 8 (2012), pp.710-715.