

FEM シミュレーションを用いた Inconel718 切削過程における AE 発生メカニズムの究明

埼玉工業大学 ○竹内瑞稀, ◎長谷亜蘭

要 旨

本研究では、FEMシミュレーションを用いてInconel718の切削過程におけるAE発生メカニズムおよび工具摩耗メカニズムの検討を行うことで、より適切な加工条件の選択と加工状態監視の精度向上を目指した。結果として、高速切削速度域において刃先への凝着によって切削抵抗が増加し、その切削抵抗変化の高い周波数帯にピークが確認された。また、切削速度の上昇に伴い、すくい面付近において高い塑性ひずみ域が発生することを確認した。

1. 緒 言

被削材および工具の性質や加工条件などから、実際の加工現象に及ぼす影響を正確に予測することは現状難しい。また、加工現象がより微視的になれば、人間の感覚で状態を判断するにも限界があり、計測技術に頼らざるを得ない。切削時に発生する弾性応力波（AE波）による加工モニタリングの研究も進められているが、そのAE波の発生メカニズムははっきりと解明されておらず、より精密な計測を行うにあたって解明する必要がある。そこで本研究では、切削過程において生じる弾性応力波について、有限要素（FEM）シミュレーションを用いて解析を行うことにより、切削加工において材料表面がどのように変化し、どのような過程を経て弾性応力波が発生しているのかを得られたデータをもとに考察している。

2. シミュレーション方法および条件

本研究では、切削専用有限要素法シミュレーションプログラムを使用し、シミュレーション解析を行った。今回、Inconel718の切削過程におけるAE波の発生について検討するため、切削速度と切れ刃丸み半径、すくい角を変更し、シミュレーション解析を実施した。被削材に析出硬化型Ni合金であるInconel718、工具に立方晶窒化ホウ素（CBN）を使用した。二次元切削シミュレーションでの切削条件としては、切削速度 20 m/min, 60 m/min, 100 m/min, 刃先丸み半径 0.04 mm, 0.1 mm, すくい角 5°, 10°, 15°, 逃げ角 6°, 送り 0.1 mm/rev, 切込み量 1.5 mm, 切削距離 3.0 mm, 初期温度 20 °Cとしている。

3. 実験結果および考察

図1および図2は、FEMシミュレーション解析から得られたひずみ速度のコンター図である。AE計測は、ひずみの加速度を捉えているという見方ができるため²⁾、ここではひずみ速度分布を用いて示している。切削条件としては、20 m/min, 100 m/minともに刃先丸み半径 0.04 mm, すくい角 5°, 15°としてシミュレーション解析を行った。切削速度 20 m/min, 100 m/min

での解析結果は、双方とも工具と材料の接触している箇所、周辺に高い塑性ひずみを確認した。また、切削速度 100 m/min の条件下で工具のすくい面付近に高い塑性ひずみ域を確認した。このことから、工具のすくい面上で凝着現象を再現することができたと考える。

切削速度 20 m/min の条件下では、切削時に生じる切削熱は刃先先端と被削材の接触部を中心に広がっており、最高温度は各角度において平均 536 °Cであり、すくい角の減少とともに最高温度は上昇していた。また、波状切りくずが生成され、仕上げ面には凹凸が見られた。これは、低速域では加工硬化度が高く、切削温度も低いことで、被削材の脆性が作用したことが原因と考える。また、切削速度 100 m/min の条件下では、切削速度 20 m/min と同様に、刃先先端と被削材の接触部を中心に切削熱が広がっており、最高温度は各角度において平均 825 °Cであり、すくい角の減少とともに最高温度は上昇していた。さらに、連続切りくずが生成され、20 m/min に比べ厚みも薄く、仕上げ面も良好になっていた。これは、切削速度上昇に伴い、加工硬化度が減少し、切削温度が上昇したことにより被削材の延性が増したことが原因と考える。

図3および図4は、切削主分力の変動を示したグラフである。この結果から、高速切削速度域では低速切削速度域に比べ、切削主分力の変動がより短い時間で激しく変化していることがわかる。しかし、低速切削速度域では変動が小さく、一定値まで上昇した後、安定していることがわかる。また、切削速度 20 m/min は、切削主分力が安定したときに切削速度 100 m/min

表1 シミュレーション条件

Workpiece	Inconel718
Cutting tool	CBN (Cubic Boron Nitride) Cutting edge radius: 0.04 mm, 0.1 mm
Tool geometry	Rake angle: 5°, 10°, 15° Flank angle: 6°
Cutting speed	20 m/min, 60m/min, 100 m/min
Depth of cut	1.5 mm
Feed rate	0.1 mm/rev

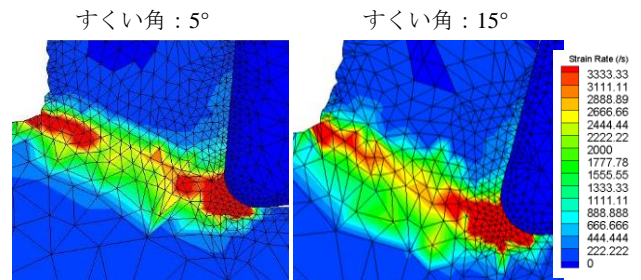


図1 ひずみ速度コンター図（切削速度：20 m/min）

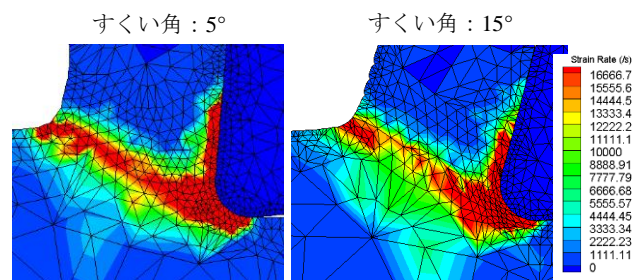


図2 ひずみ速度コンター図（切削速度：100 m/min）

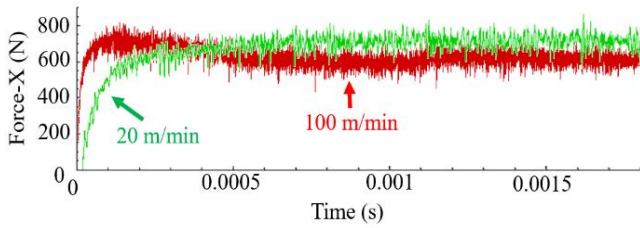


図3 切削主分力の変動 (すくい角: 5°)

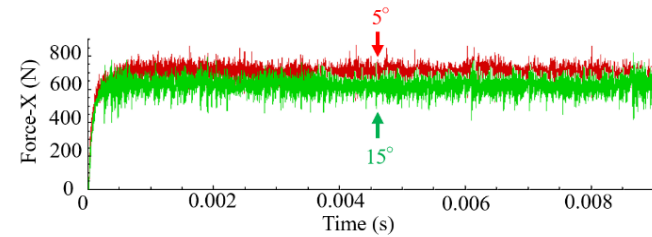


図4 切削主分力の変動 (切削速度: 20 m/min)

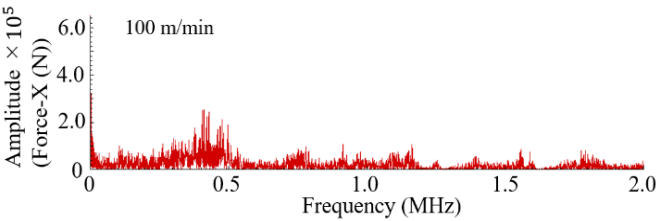
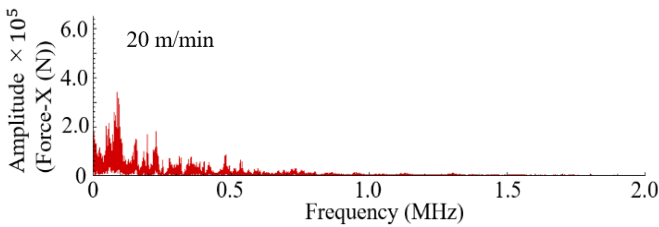


図5 周波数スペクトル (すくい角: 5°)

の切削時に比べ、切削力が大きいことがわかる。また、図4に示すように切削速度 20 m/min の条件下で、すくい角を変更しシミュレーション解析を行った結果は、すくい角の減少に伴い切削主分力が增大することがわかった。さらに、切削速度 100 m/min の条件下でも同様の結果が得られた。

図5は、図3の切削主分力の変動の周波数解析結果である。切削速度 20 m/min の条件下では、周波数ピークを 0.1 MHz 付近に確認した。これは、被削材のせん断に伴う応力変化の周波数と考える。また、周波数スペクトル全体を見ても 0~0.5 MHz 付近にかけて振幅の存在が確認された。これは、低速切削速度域における切削主分力の安定性によるものと考えられる。

切削速度 100 m/min の条件下では、周波数ピークを 0.5 MHz 付近に確認した。また、切削速度 20 m/min でシミュレーション解析を行った際よりも、周波数帯の数値がより高い位置まで振幅が発生していることがわかる。これは、切削速度を上昇させたことで、切削抵抗の増加につながり、凝着現象を誘発させたことが原因と考える。

図6は、各切削速度の周波数帯域ごとにおける周波数ピークの推移である。0~0.5 MHz における周波数ピークの推移は、切削速度の増大とともに減少している。また、0.5~1.0 MHz では、60 m/min で周波数ピークの上昇を確認したが、100 m/min で減少している。そして、1.0~1.5 MHz および 1.5~2.0 MHz では、

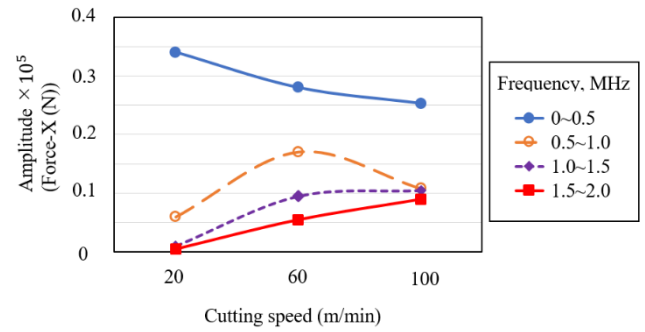


図6 各切削速度における周波数ピークの推移 (すくい角: 5°)

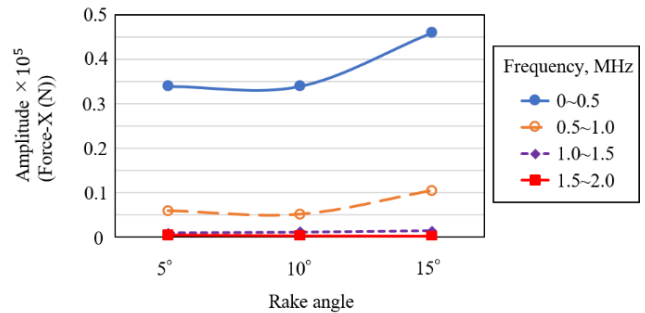


図7 各すくい角における周波数ピークの推移 (切削速度: 20 m/min)

切削速度の増大とともに周波数ピークの推移も上昇している。この結果から、切削速度の増大により、より低い周波数帯における周波数ピークは減少したことに對し、より高い周波数帯における周波数ピークは増加したことから、切削速度の変化が AE 波に大きく影響することがわかる。

図7は、切削速度 20 m/min における各すくい角の周波数ピークの推移である。0~1.0 MHz において、すくい角の減少に伴い、ピークの反応が大きくなっている。しかし、1.0~2.0 MHz のピークはすくい角が増大しても、大きな違いは見受けられなかった。これは、低速切削速度域かつ安定した切削では、1.0~2.0 MHz に大きな変化は起きないことを示している。

4. 結言

本研究では、FEM シミュレーションを用いて Inconel718 切削過程における AE 発生メカニズムの解明を行った。得られた結論は以下のとおりである。

- (1) 高速切削速度域において、刃先への切削抵抗の増加に伴い、より高い周波数帯に周波数ピークが確認された。
- (2) 切削速度の上昇に伴い、工具すくい面付近において高い塑性ひずみ域を確認することができた。
- (3) 切削速度の変化が、被削材のひずみ速度ならびに AE 波に大きく影響することがわかった。
- (4) Inconel718 の切削時に生成される切りくずの形状は、切削速度の増減に影響されることがわかった。

参考文献

- (1) 長谷: AE センシングを用いたマイクロドリル加工の異常予知, 2020年度精密工学会春季大会学術講演論文集, pp.640-641 (2020)
- (2) 長谷: FEM シミュレーションを用いたマイクロ切削加工時に生じる弾性応力波に関する研究, 2019年度精密工学会春季大会学術講演論文集, pp.343-344 (2019)