

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820022

研究課題名(和文) 工具表面構造に着目したインコネル718の高速切削加工に関する研究

研究課題名(英文) High speed machining of Inconel 718 focusing on surface topography of CBN cutting tool

研究代表者

杉原 達哉 (Sugihara, Tatsuya)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：90637539

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、代表的な難削材であるインコネル718の高速・高能率切削加工の実現を目的に、“工具の表面構造”に着目した新たなCBN工具の開発を試みた。そして、インコネル718切削加工時のCBN工具の摩耗メカニズムの解明を図り、工具の断面観察を行うことによって、低速・高速切削速度域における摩耗進行プロセスの可視化を行った。さらに、明確化したメカニズムに基づき新たなCBN工具の開発・評価を行ったところ、CBN工具の表面性状・構造を最適化することによって、インコネル718の高速・高能率加工を実現するCBN工具が実現する可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：The present study developed a CBN cutting tool focusing on the surface micro topography of the tool for the machining of Inconel 718. Detailed wear behavior of the CBN cutting tool and the relationship between surface microstructures of the cutting tool and wear resistance were investigated. The results indicates that a rake face with micro grooves significantly suppressed the crater wear at low cutting speed, although polished surface rake face reduced the initial crater wear by approximately 40 % compared to the non-polished tool in high speed cutting of Inconel 718.

研究分野：工学

キーワード：切削加工 トライボロジー 難削材 インコネル718 CBN工具

1. 研究開始当初の背景

(1) ニッケル合金の一種であるインコネル 718 は、優れた高温強度、耐食・耐薬品性を有するために、航空宇宙産業や原子力産業をはじめとする様々な分野で近年需要が急増している材料である。その一方で、熱伝導率が低い、工具材料との親和性が高い、加工硬化をおこしやすいといった性質を有するために、切削加工が極めて困難な難削材の一つとして挙げられている。

(2) 特に、需要急増に伴う加工の高効率化に対する要求に反して高速切削時の工具寿命が著しく短く、超合金製工具を用いた切削加工では切削速度 40 m/min 程度に留まっているのが現状である。

2. 研究の目的

(1) 本研究では上述の課題の打破を目指し、立方晶窒化ホウ素(Cubic boron nitride)の焼結体工具である CBN 工具に着目し、インコネル 718 の高速切削加工の実現を目指す。

(2) 特に、本研究では工具-切りくず間のトライボロジー特性に着目し、工具の“表面構造”というこれまでに無い独自の視点から革新的な高機能 CBN 工具を創出することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) CBN 工具の摩耗メカニズムの解明

優れた機能を発現する CBN 工具を開発するためには、インコネル 718 材加工における工具損傷機構・メカニズムを明確化することが不可欠である。そこで、工具-被削材間の現象のモデル化を容易にするために二次元切削加工実験装置を構築し、低速～中速～高速切削速度における CBN 工具損傷の主要因および進行プロセスを明確化する。

(2) 工具表面構造に着目した高機能 CBN 工具の開発

上述の検討に基づき、潤滑剤の Micro Pool としての効果、摩耗粒子のトラップ効果、付着物のアンカー効果など、工具表面の微細構造がもたらす無数の機能の中から、インコネル 718 の切削加工において CBN 工具に必要とされる機能を抽出し、適切な表面構造を有する高機能 CBN 工具の開発を行う。さらに、開発した切削工具の加工特性を評価するとともに、課題の抽出を行うことで、表面構造の最適化を図る。

4. 研究成果

(1) CBN 工具の摩耗メカニズムの解明

インコネル 718 の切削加工における CBN 工具の摩耗メカニズムを明確化するため、図 1 に示すような実験装置を構築し、二次元切削加工実験を実施した。実験では幅 2 mm の円筒状被削材の端面を加工することによって、擬似的な二次元切削加工を実現している。実験は 20 m/min, 100 m/min, 300 m/min の 3 パターンの切削速度で行い、工具すくい面の

三次元形状の推移を評価した。さらに、切削距離が 25 m の時点に達した際の工具を図 2 のように放電加工によって切断し、イオンミリング処理を施した切断面を観察することによって、摩耗メカニズムの可視化を試みた。

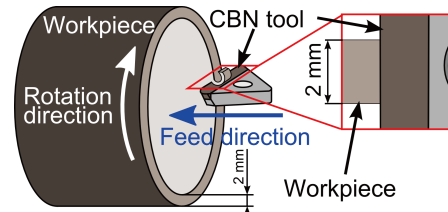


図 1 実験方法

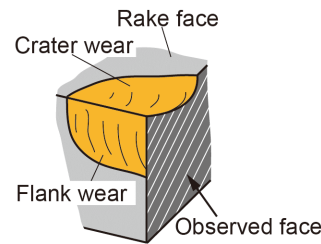


図 2 工具断面観察方法

図 3 に低速切削速度域 (切削速度 20 m/min) における工具すくい面の三次元形状の推移を示す。同図に示すように、低速切削速度域では、加工開始直後に工具すくい面に著しい被削材の凝着物が生成し、切削距離の増加とともに大きなクレータ摩耗が発生している。さらに、図 4 は工具断面の観察結果であるが、クレータ摩耗部分に生成した凝着物と工具母材間にはクラックが発生しており (図 4 (a)), さらにクラックの一部は工具母材内に進展していることが確認できる (図 4 (b))。以上の結果から、低速切削速度域における CBN 工具の摩耗は、凝着物の生成と脱落、さらにそれとともに工具母材の剥離の繰り返しによって進行すると考えられる。

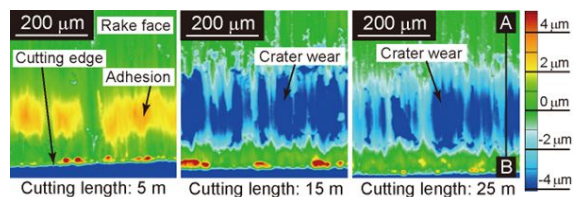


図 3 工具すくい面の三次元形状推移

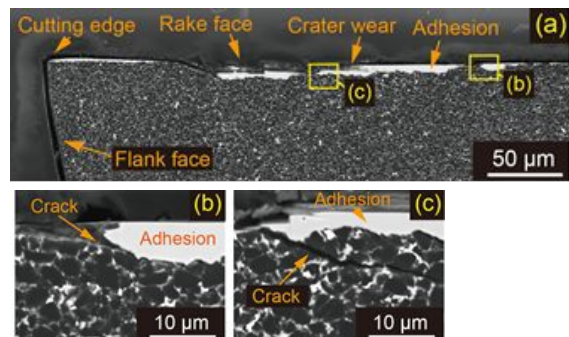


図 4 工具の断面観察結果

一方で、図5は切削速度 100 m/min, ならびに 300 m/min における工具すくい面の三次元形状の推移を示しているが、いずれの切削速度においても切削距離の増加に比例してクレータ摩耗が進行していることがわかる。さらに、図6に切削速度 100 m/min における工具の断面観察結果を示す。同図からわかるように、低速切削加工時に発生したすくい面への切りくず凝着(図4)が消失している。これは、切削速度の上昇とともに切削温度が上昇し、工具-切りくず界面における温度が被削材金属の再結晶温度を超えたことが原因であると考えられる。また、図6(b)からわかるように、高速切削速度域においてはCBN粒子自体が摩滅することによって、平滑な摩耗面を形成している。ここで、図7は各切削速度における工具断面側のEDX分析結果を示しているが、切削速度 100 m/min の場合のみにおいて、工具-切りくず界面付近で工具母材成分(N, Co)と被削材成分(Ni)がともに検出されている。この結果は、切削速度の上昇とともに加工点での温度が上昇し、工具-被削材間で拡散が生じていることを示しており、切削速度 100 m/min においてはこの拡散が摩耗の主要因となっていると言える。また、切削速度 300 m/min においては、切削速度 100 m/min における加工と同様の摩耗形態で摩耗が進行している一方で、摩耗の進行スピードが速いことから、より高い熱的負荷が工具に生じていると考えられる。

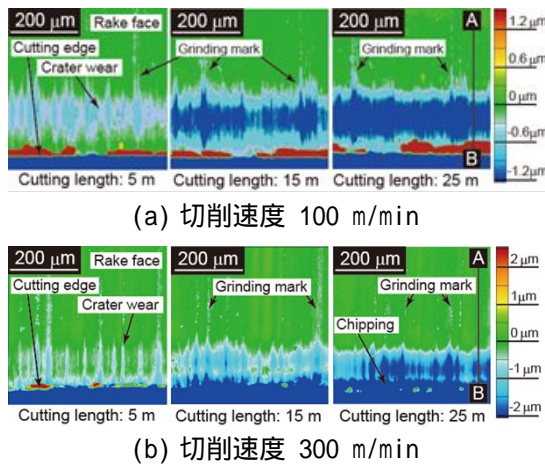


図5 工具すくい面の三次元形状推移

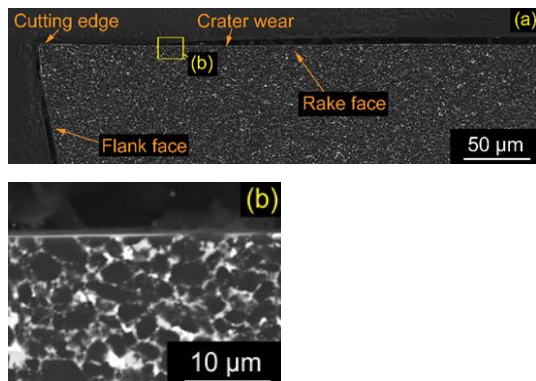
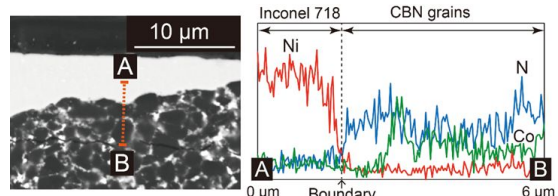
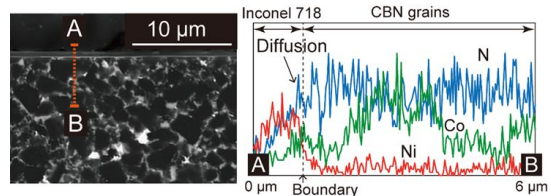


図6 工具の断面観察結果



(a) 切削速度 20 m/min



(b) 切削速度 100 m/min

図7 EDX分析結果

(2) 工具表面構造に着目した高性能 CBN 工具の開発

上述の検討で明らかにしたとおり、切削速度 20 m/min においては、凝着物の生成と脱落、さらにそれとともに工具母材の剥離の繰り返しによって摩耗が進行している。ここで、本研究では図8に示すように、微細な周期溝構造を工具すくい面に有する切削工具を新たに開発した。工具表面に施された微細な構造は、アンカー効果を発現することによって凝着物の脱落を抑制し、それとともに工具母材の剥離を防ぐことが期待できる。

図9は、開発工具を用いて加工を行った場合の工具すくい面の三次元形状の推移を示している。同図に示すように、すくい面上に生成した凝着物は脱落することなく安定してすくい面に留まっており、凝着物の脱落とともに摩耗を抑制できていることが確認できる。この結果から、開発工具がインコネル718の低速切削加工において、優れた耐摩耗性を示すことが明らかとなった。

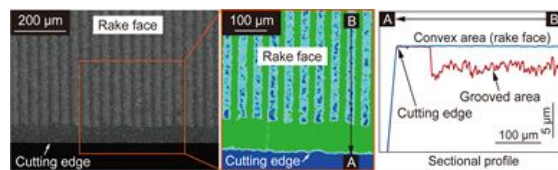


図8 微細表面構造を有する切削工具

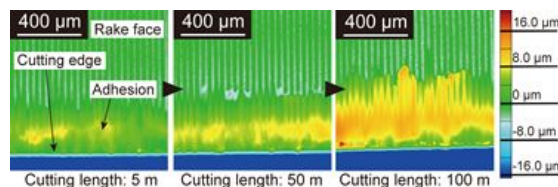


図9 工具すくい面の三次元形状推移

また、高速切削加工においては、図5に示すように、工具形成時に生じた研削痕の周辺において局所的に著しい工具摩耗が生じていることが確認できる。この結果は、インコネル718の高速切削加工においては、研削

痕などの工具すくい面上の微細な凹凸が、局所的な摩耗を促進する可能性を示唆していると言える。そこで、工具表面の微細な凹凸と耐摩耗性の関係を明らかにするため、これまでの実験に使用した CBN 工具(Normal tool, すくい面粗さ: 100 nmRa, 578 nmRz)に加え、工具すくい面を研削仕上げした工具(Ground tool, すくい面粗さ: 54 nmRa, 260 nmRz), ならびに研磨仕上げした工具(Polished tool, すくい面粗さ: 5 nmRa, 22 nmRz)を用意し、インコネル 718 の高速切削加工における加工特性を評価した。

図 11 は各工具のクレータ摩耗量の推移、図 12 は工具仕上げ面粗さとクレータ摩耗量の関係を示したグラフとなっている。同図からわかるように、インコネル 718 の高速切削加工においては、工具すくい面の表面粗さがクレータ摩耗量に大きな影響を及ぼしている。そして、研磨仕上げした工具は通常の切削工具と比較して摩耗量を約 1/2 程度に抑制できていることがわかる。

以上の結果から、CBN 工具を用いたインコネル 718 の切削加工においては、CBN 工具の表面性状・構造が摩耗に大きな影響を及ぼすことが明らかとなり、これらを最適化することによって、インコネル 718 の高速・高能率加工を実現する CBN 工具が実現する可能性が示されたと言える。

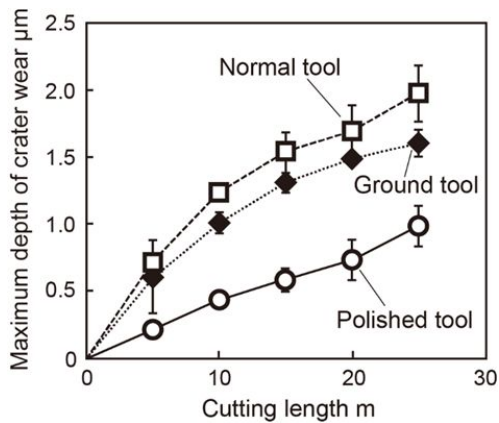


図 11 クレータ摩耗量の推移

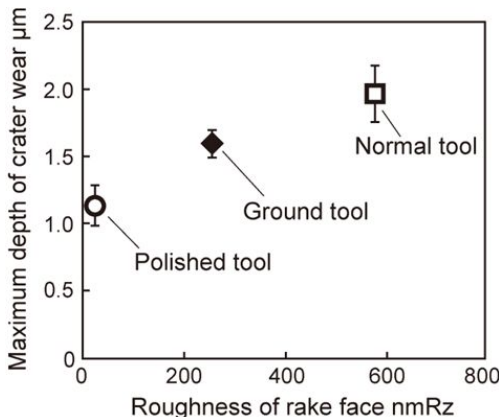


図 12 すくい面粗さとクレータ摩耗量の関係

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

Tatsuya Sugihara, Shota Takemura, Toshiyuki Enomoto, Study on high speed machining of Inconel 718 focusing on tool surface topography of CBN cutting tool, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 査読有, in press

〔学会発表〕(計 2 件)

Tatsuya Sugihara, Toshiyuki Enomoto, High speed machining of Inconel 718 focusing on tool surface topography of CBN cutting tool, The 43rd SME NAMRC, 2015 年 6 月, NC Charlotte

Tatsuya Sugihara, Toshiyuki Enomoto, Improving Tool Wear Resistance in Inconel 718 Cutting by Considering Surface Microstructures of CBN Cutting Tool, ISAAT 2015, 2015 年 11 月, Jeju

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉原 達哉 (SUGIHARA TATSUYA)

大阪大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 90637539