

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 11 日現在

機関番号：14401

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24860040

研究課題名(和文) 切削工具の機上再生技術に関する研究

研究課題名(英文) Study on on-machine tool resharpening process

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) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、切りくずの凝着などによって加工特性が低下した切削工具を工作機械上で再生する、つまり「切削工具の機上再生」というこれまでにない技術を提案・確立することである。本研究ではアルミニウム合金のドライ切削加工に着目して検討を行い、液体金属脆化作用を援用した凝着物の脆化、ケミカルウッドの切削、からなる工具再生プロセスを提案した。そして、提案手法をアルミニウム合金のドライエンドミル加工に適用した結果、切りくず凝着によって加工特性が著しく低下した工具に対して提案プロセスを適用することで、工具のパフォーマンスが新品状態と同程度まで回復することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The present study proposed a novel strategy for removing the adhesion layer from the tool surface and recovering the cutting tool performance without detaching the cutting tool from the machine tool; namely, an on-machine tool resharpening process. To achieve efficient removal of the aluminum adhesion layer from the tool surface, the phenomenon of liquid metal embrittlement (LME), which is defined as a brittle fracture, or loss in ductility, of a ductile material in the presence of a liquid metal was employed. A series of milling experiments clearly showed that the developed strategy employing liquid gallium successfully removes the aluminum adhesion from the tool surface without damage to the tool substrate, and the resharpened tool shows excellent cutting performance nearly equivalent to its virgin state.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：工具再生 ドライ加工 液体金属脆化 凝着 アルミニウム合金 ガリウム

1. 研究開始当初の背景

(1) アルミニウム合金などの軟質な金属材料の加工においては、工具表面への切りくず凝着が工具寿命を大きく左右する要因であり、特に切りくず凝着が著しく生じるドライ加工においては致命的な問題となっている。

(2) この問題を解決するために、従来から工具材料やコーティングなどについての研究が盛んに行われている。これらの研究は“工具をいかに長持ちさせるか”に主眼がおかれているが、根本的な解決には至っていないのが現状である。

2. 研究の目的

(1) 本研究では上述の問題の打破を目指し、“工具をいかに長持ちさせるか”に主眼が置かれた従来型の切削工具の研究開発の潮流とは全く逆に、“工具の切れ味をいかにして回復させるか”という独創的なコンセプトに基づいた新たな手法の創出を目指す。

(2) 上記のコンセプトのもと、工具表面の切りくず凝着を工作機械上で除去し、切削工具の“切れ味”を再生するという新たな切削加工技術を創出・構築し、実用化への目途を明確化することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 切削工具の“切れ味”低下要因の特定
アルミニウム合金のフライス切削加工を対象とし、すくい面上に生成した切りくず凝着をNaCl溶液を用いた電蝕反応を利用することで一旦除去し、凝着除去前後の切削工具の切削特性を比較することによって切削工具の“切れ味”を低下させている要因の特定を行う。

(2) 切りくず凝着の機械的特性の把握
工具すくい面上に生成した切りくず凝着の三次元形状を測定すると共に、凝着に対するスクラッチ試験を実施することによって凝着除去の手法についての指針を得る。

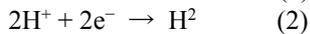
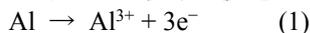
(3) 液体金属脆化作用を援用した凝着の脆化
切りくず凝着の除去を困難にしている要因の一つである凝着物の延性を低下させる手法として液体金属脆化作用に着目し、効率的な凝着除去手法の確立を目指す。

(4) 切削工具の機上再生プロセスの提案および提案プロセスの検証
上述の(1)~(3)の検討内容をベースとし、工具母材を損傷することのない切削工具の機上再生プロセスの提案を行うとともに、アルミニウム合金のドライミリング加工実験を実施することによって本提案手法の優位性を実験的に明確化する。

4. 研究成果

(1) 切削工具の“切れ味”低下要因の特定
超硬合金製インサートを用いてアルミニウム A5052 合金を正面フライス切削にてドライ切削加工した結果 (切削速度 380 m/min, 送り速度 0.12 mm/tooth, 切削距離 1800 m), 図1に示すように工具すくい面上には著しい

切りくず凝着が生じた。また、図2は同工具をNaCl水溶液に2時間浸漬させた後の工具すくい面のSEM像、三次元形状である。超硬合金製インサート上に生じたアルミニウム合金の凝着物は、NaCl水溶液中で電蝕反応と呼ばれる以下の反応によって溶出する。



同反応は反応速度が遅く NaCl 水溶液が腐食性を有することから機上再生プロセスへの適用は困難であるが、図2に示すように工具母材を損傷することなく凝着の除去が可能である。

ここで、新品状態の工具 (virgin tool), および電蝕反応により凝着物を除去した工具 (adhesion-removed tool) を用いた場合の切削抵抗の推移を図3に示す。同図に示すように、新品状態の工具は切削距離の増加とともに工具すくい面上に凝着物が堆積し、それにもない切削抵抗も増大している。しかしながら、電蝕反応によって一旦凝着物を除去した後の工具は、新品状態の工具とほぼ同様の切削抵抗の推移を示している。この結果から、アルミニウム合金のドライ加工においては切りくず凝着の生成によって工具の切削特性が著しく低下することが明らかとなったとともに、凝着物の除去によって工具の加工特性が大きく回復することが示された。

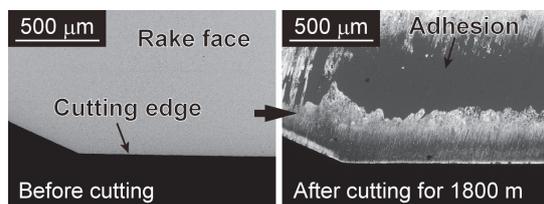


図1 工具すくい面のSEM画像 (左：加工前，右：1800 m加工後)

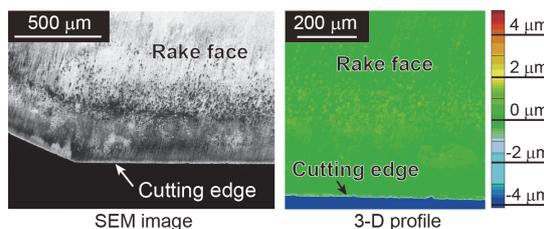


図2 電蝕反応後の工具すくい面

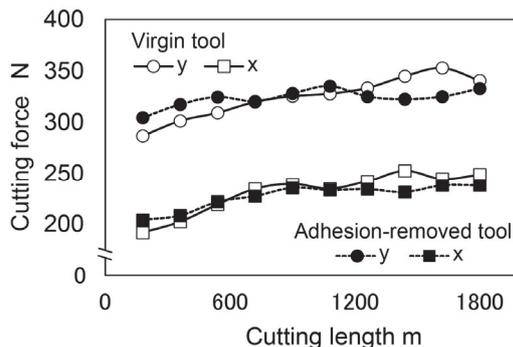
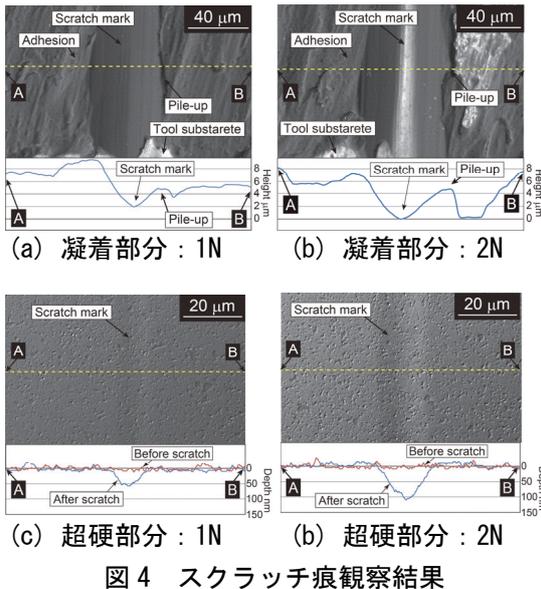


図3 切削抵抗の推移

(2) 切りくず凝着の機械的特性の把握

工具すくい面上に生成した切りくず凝着を除去する方法としては、(A) 物理的手法による除去、(B) 化学的方法による除去、の二つの方法が挙げられる。ここで、(B) 化学的方法については、硫酸や塩酸などの酸を使用した場合は超合金のバインダ材料であるコバルトが溶出し、水酸化ナトリウム水溶液などの塩基を使用した場合はWCが溶出するため、凝着除去の手法として適用することは困難である。そこで、(A) 物理的手法による除去の実現可能性を明らかにするため、凝着物に対するスクラッチ試験を行った。

図4に工具すくい面上の凝着部分、工具母材である超硬部分に対して1N、2Nの荷重でスクラッチ試験を行った結果を示す。同図(a)および(b)に示すように、凝着は圧子によって塑性変形しており、2Nの荷重下ではスクラッチ痕部分の凝着は完全に除去され工具母材が露出している。また、同図(c)および(d)に示すように、工具母材は凝着が完全に除去できなかった1Nの荷重においても僅かながら変形が生じている。以上の結果から、工具母材を損傷することなく凝着を物理的に除去することは極めて困難であると言える。



(3) 液体金属脆化作用を援用した凝着の脆化

図4(a)および(b)に示すように、凝着部分のスクラッチ痕の両側には、Pile-upが発生している。これは凝着部分が延性的に変形していることを示しており、凝着を物理的に除去することが困難な原因の一つがこの延性であると予想される。

そこで、凝着の延性を低下させる方法として、液体金属脆化 (Liquid metal embrittlement) 作用に着目した。これは延性金属に液体金属が接触したとき、延性金属の延性が著しく低下するという現象であり、アルミニウム合金は液体ガリウムによって脆化されることが知られている。この現象は特定の延性金属、液体金属間でのみ発現し、さらに液体ガリウ

ムは人体に対して無害であることから、切削工具の機上再生に容易に適用可能である。

図5(a)は通常アルミニウム A5052 合金に対してスクラッチ試験を行った結果であるが、延性モードのスクラッチ痕となっている。それに対し、図5(b)はアルミニウム A5052 合金試料上に液体ガリウムを塗布した状態で超音波振動を付与し、60°Cで30分間保持した後に、スクラッチ試験を行った結果である。同図に示すようにスクラッチ痕には無数の亀裂が観察でき、試料の延性が失われ脆化していることが確認できる。以上の方法を用いれば、液体金属によって工具すくい面上の切りくず凝着を脆化し、物理的手法によっての除去が容易になると考えられる。

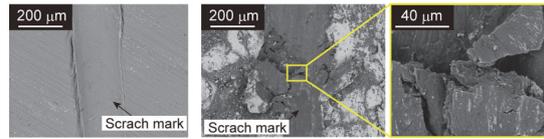


図5 Al 試料のスクラッチ痕観察結果

さらに本研究では、液体金属脆化によって脆化した凝着の最終的な除去手法については、ケミカルウッドなどの樹脂材料の切削によって除去する方法を検討した。図6に示すように、切りくず凝着を脆化した状態でケミカルウッドを切削することで、切りくずと共に凝着物や工具に付着した液体ガリウムを除去できると予想される。さらに、ケミカルウッドは極めて優れた被削性を有することから、工具を損傷することなくダメージフリーでの除去が可能となる。

図7(a)は液体金属脆化プロセスを経由せずにケミカルウッドの加工を行った工具、(b)は液体金属脆化プロセスを経由してケミカルウッドの切削を行った工具のすくい面をそれぞれ示している。同図(a)に示すように、

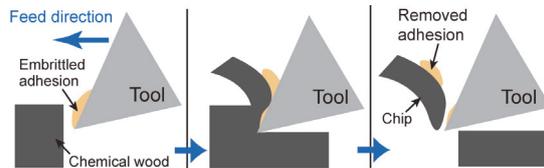


図6 ケミカルウッド切削による凝着除去

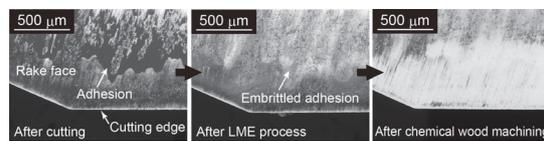
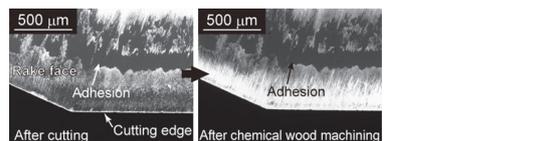


図7 ケミカルウッド切削後の工具すくい面

ケミカルウッドを加工するだけでは工具すくい面上の凝着の除去が出来ていないのに対し、脆化処理を経てケミカルウッドの加工を行うことで、工具を損傷することなく凝着を除去できることが明らかとなった。

(4) 切削工具の機上再生プロセスの提案および提案プロセスの検証

(1)~(3)の検討をもとに提案するプロセスを図8に示す。凝着の発生にともない加工特性が低下した工具は、アセトン槽での洗浄、ガリウム槽での脆化処理、ケミカルウッドの切削という工程を経て再生され、切削位置に戻り加工が再開される。これらの工程を工作機械の主軸稼動範囲内で行うことにより、加工→工具再生→加工→・・・といったサイクルを工具の着脱なく工作機械上で行うことが可能となり、アライメントエラーなどを気にすることなく、永続的な加工が可能となる。

本提案手法の有用性を明らかにするため、エンドミルを使用したアルミニウム A5052 合金のドライ加工切削を行った（切削速度 220 m/min, 送り速度 0.08 m/rev）。図9にエンドミルのすくい面の SEM 像を示す。同図に示すように、切削距離 975 m の時点で工具すくい面上には著しい凝着が生じているが（図9(b)）、脆化処理（図9(c)）、ケミカルウッドの切削（図9(d)）を経て、すくい面上の凝着が工具を損傷することなく除去できていることがわかる。さらに、図10は工具再生前後の切削抵抗（図10(a)）、仕上げ面粗さ（図10(b)）の推移を示している。これらの図から分かるように、すくい面上に生成した切りくず凝着によって、切削距離 900 m 付近から切削抵抗、仕上げ面粗さ共に急激に上昇している。しかしながら、両者は再生プロセスを経ることによって新品工具使用時とほぼ同程度まで低減しており、その後の推移も新品工具とほぼ同様となっている。

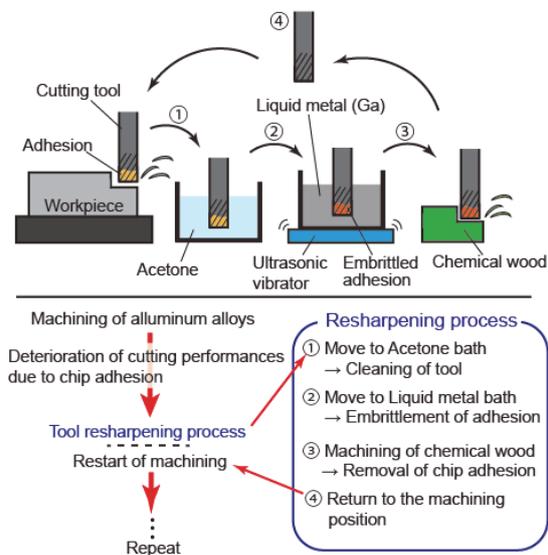


図8 提案工具再生プロセス

以上のことから、切りくず凝着によって著しくパフォーマンスが低下した切削工具に対して本研究で提案した再生プロセスを適用することで、加工特性を新品状態とほぼ同程度まで回復することが可能であることが明らかとなった。

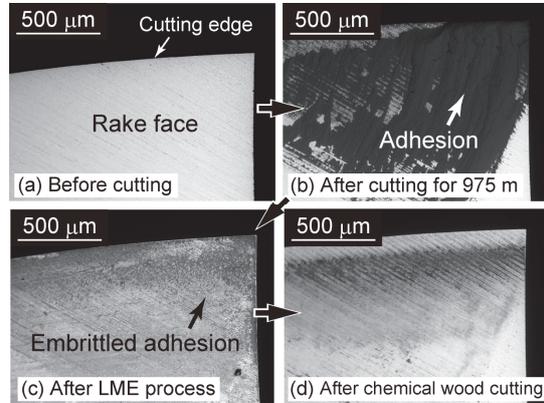
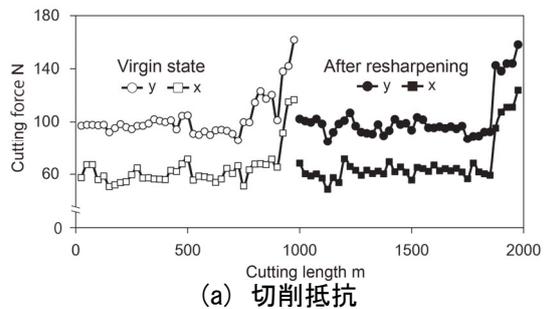
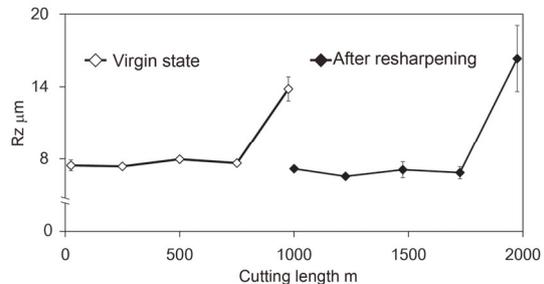


図9 エンドミルすくい面の SEM 像



(a) 切削抵抗



(b) 仕上げ面粗さ

図10 工具のパフォーマンスの推移

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)

[学会発表] (計 2 件)

- ① 杉原達哉, 榎本俊之: 液体金属脆化作用を援用した切削工具の機上再生, 2014 年度精密工学会秋季学術講演会, 2014 年 9 月, 鳥取
- ② Tatsuya Sugihara, Yuki Nishimoto, Toshiyuki Enomoto, On-machine tool resharpening for dry machining of aluminum alloys, CIRP MIC 2014, 2014 年 11 月, Hannover

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