

平成 21 年 5 月 21 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18760110

研究課題名（和文） 自己修復膜生成制御による切削工具の摩耗抑制法に関する研究

研究課題名（英文） Study on cutting tool wear prevention method by control of self restoration layer

研究代表者 田中 隆太郎（TANAKA RYUTARO）

金沢大学・機械工学系・助教

研究者番号：60361979

研究成果の概要：本研究では、高速対応型快削鋼として BN 添加鋼を使用し、超硬工具を用いた BN 添加鋼の切削加工を行い、工具-被削材間への微量通電が行い被削性におよぼす影響について検討を行った。その結果以下の結論が得られた。連続切削時の工具摩耗は工具-被削材間の電流により影響を受ける。電流量が 5mA を超えるとそれ以下の場合と比べすくい面摩耗の明らかな減少が見られた。断続切削では、適切な電流量を選択することによって、単に絶縁して電流が流れなくして切削する場合よりもよい切削特性値を示す切削条件が存在する。電流量に対する切削抵抗の挙動が、電流量に対する工具摩耗量の変化傾向にほぼ一致している。このことから、工具摩耗を抑制するための最適な通電条件を選定する際、切削抵抗の変化に注意すれば、最適な電流量のおおまかな目安になり得る。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,900,000	0	1,900,000
2007年度	1,500,000	0	1,500,000
2008年度	100,000	30,000	130,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	30,000	3,530,000

研究分野：機械加工

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：切削加工，旋削加工，正面フライス切削，微量通電，快削鋼，ベラーグ，微量通電，工具摩耗

## 1. 研究開始当初の背景

これまで通電を用いた切削性の向上を図る研究がなされている。例えば H.S.Shan らや V. ŠOLAJA が鋳鉄を旋削加工する際に、工具ホルダと工作機械間の電氣的絶縁の有無や付加する電流の方向により工具摩耗が影響を受け、切削中に発生する熱電流を打ち消すとよいとしている。また鋼に対しては

J.ELLIS らが 1960 年代に研究を行っているが高速切削に適した工具材種が広く普及していなかったため比較的低速における研究となっている。

最近では、工藤らのごく一般的な炭素鋼について中速域において工具ホルダと工作機械間の電氣的絶縁の影響について調査を行っている程度である。

## 2. 研究の目的

かなり以前から自動車部品の切削加工が必要とされる部品のほとんどに、成分調整を行った快削鋼が用いられており、現代のように高速・高能率切削が絶えず望まれる状況下においては材料中の介在物が工具表面に付着し自己修復保護膜としての働きにより工具摩耗を遅らせるようなタイプの快削鋼が広く用いられるようになった。これまでの研究では、本研究のように微量通電の効果を材料の化学成分、介在物についての検討した例はほとんどない。工具の開発は高硬度、高耐熱性を主眼においたコーテッド素材の材種、また削られる材料中の化学成分および介在物の組織制御などハードに関するもののみであり、今回の研究のように快削鋼という比較的削りやすい材料を、同じ材料を同じ工具で切削する場合において、いかに工具摩耗を抑えて高能率に切削するかといったソフトに関する研究は、超耐熱合金、チタン合金など難削材については多くの研究が行われているが、もともと削りやすいといわれている快削鋼の分野において、このようなアプローチはほとんどなされていない。

## 3. 研究の方法

本研究は基本的な切削方式である旋削加工において基本的なデータ採取を目的とする。さまざまな条件で加工を行い加工材料の化学成分、切削雰囲気、また通電の有無などの電気的な特性が被削性に与える影響について検討を行い最適な加工条件を見出す。なお、実験は次に示す手順で行う。

実験ではBN添加鋼および比較材として一般的な炭素鋼 S45C について各種切削工具を用い旋削加工を行い、工具摩耗、切削抵抗、切削温度、仕上げ面粗さなどの基礎的なデータを収集する。また、切りくずの組織観察、切削後の工具の摩耗部分について EPMA による元素分析を行う。近年では加工能率向上のために高速で切削が行われるようになり、それに伴い切削温度の急激な上昇が引き起こされる。このような状況下では、ある元素、介在物などが選択的に工具に付着する現象が観察されることから、切削後の工具摩耗面の元素分析はきわめて重要である。

旋削加工で得られたデータをもとに切削条件を検討した上で、エンドミル加工、フライス加工などの断続切削加工における適応性を評価する。断続切削では切削と空転が交互に行われることから、空転時に起こる工具および付着物の酸化の影響を考慮する必要がある。また断続切削時には空転時に外部から潤滑材等を供給することができ、切削時に

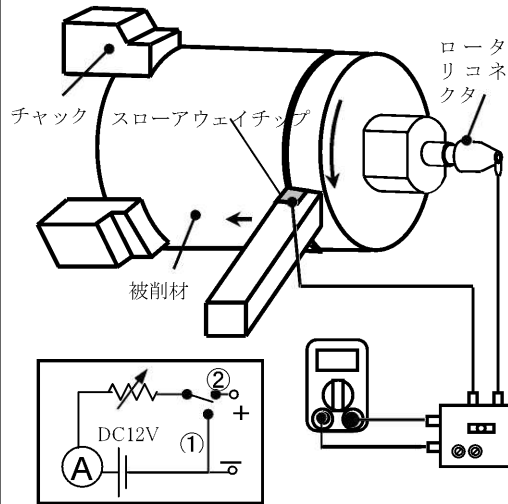


図1 実験装置の概略図

生成されるベラークと最も相性がよい供給材を見出す。

切削加工において切削機構の解明や工具摩耗の原因について論じる際、切削温度のデータは不可欠である。一般的に切削温度の計測は熱起電力の測定を行い、別途作成した構成曲線を用い切削温度を求める方法が広く用いられてきた。しかし通電切削では熱起電力を測定する回路に電流を流すことになるのでこの手法は用いることが出来ない。そこで非接触で温度を測定する必要がある。一般の赤外線放射温度計では表面のふく射率や表面からの距離などを考慮する必要があるが我々の研究室において開発した2色温度計を用いれば、波長の異なる2点におけるエネルギー量を求めその比から温度を算出するので正確な温度測定が可能となる。

切削中に工具摩耗面上に形成されるベラークと呼ばれる保護膜は1ミクロン以下の非常に薄い場合でも摩耗抑制効果があるとされている。今回の研究では工具表面に Al(アルミニウム)、N(窒素)の付着が考えられるが窒素は軽元素であり、また膜厚も非常に薄いため、これを元素分析する際、工夫が必要である。そこでレーザ加工で工具すくい面、逃げ面表面に微小な溝を作成し、切削時に生成される保護膜厚さを出来るだけ大きくすることにより、分析を容易にするだけでなく正確なデータの採取が可能となると考えられる。また、工具、被削材は実験結果のばらつきを抑えるために同一ロットのものを一括で入手する。

## 4. 研究成果

### ①連続切削における効果

本研究では、高速対応型快削鋼として BN 添加鋼を使用し、超硬工具を用いた BN 添加鋼の旋削加工を行い、工具-被削材間への微量

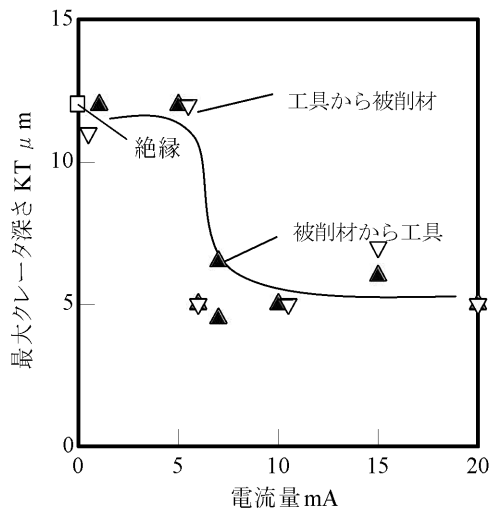


図 2 BN 添加鋼旋削時の工具-被削材間の電流とすくい面摩耗の関係

通電が行い被削性に及ぼす影響について検討を行った。その結果以下の結論が得られた。超硬 P30 を用いた旋盤加工において、最大 20mA の工具-被削材間へ微量通電を行った場合、

(1) 切削時の工具摩耗は工具-被削材間の電流により影響を受ける。電流量が 5mA を超えるとそれ以下の場合と比べすくい面摩耗の明らかな減少が見られた。

(2) 逃げ面摩耗は電流量が 10mA まではほぼ同じ摩耗量を示し、さらに電流量が増加すると摩耗が増加する。

(3) 通電切削時において切削点に窒素ガスを噴射すると未噴射時と比べ、逃げ面摩耗が大幅に減少し、すくい面摩耗がやや増加したが、窒素未噴射で電流量が小さい場合のすくい面摩耗と比較するとその摩耗量は小さい。低切削速度では酸素の吸着が増加すると Fe を主成分とする安定な付着層が生成され切削状態が安定するとの報告もあるが、本研究は比較的高速で切削温度が高いことから被削材の凝着も少なく、過度の酸素の吸着は酸化摩耗などの工具摩耗を促進させる可能性も考えられ、摩耗抑制に大きく寄与するとは考え難い。このことから微量通電が切削中の工具表面において窒化物系保護膜の生成を促進させることにより工具摩耗が抑制されたと考えられる。

(4) 通電により切削抵抗が低下した。被削材の凝着が起こりにくく、BN 添加鋼切削時に工具表面に生成される窒化物系保護膜との親和性が高いとされる工具ほど切削抵抗の変化が少ない。

(5) 工具-被削材間へ流れる電流は工具逃げ面温度へほとんど影響を与えない。

また、旋削加工中の電流と工具-被削材間の電気抵抗と接触領域における消費エネルギーの検討

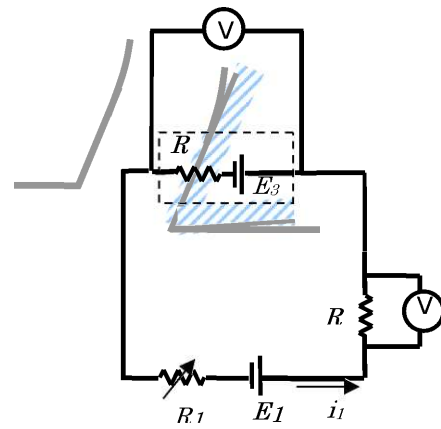


図 3 工具-被削材から形成される閉回路

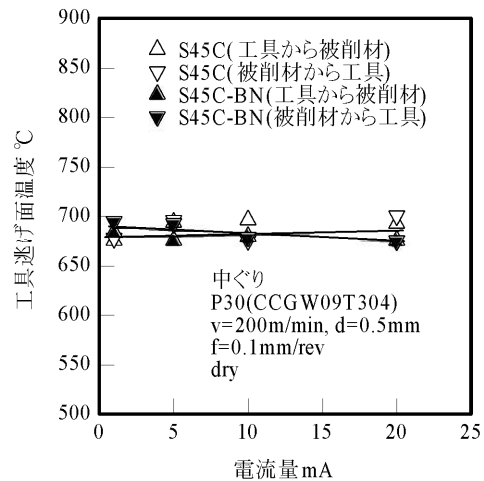


図 4 工具-被削材の電流と工具逃げ面温度の関係

も行った。工具-被削材間の電気抵抗切削速度が大きくなるほど高く、工具摩耗が進行するほど小さく、金属の 2 点間接触と同じで切削速度によっても異なるが、おおむね 50mΩ 程度であることが報告されている。未使用の工具で BN 添加鋼を旋削した時の測定値より算出した工具-被削材接間の電気抵抗はおよそ 50mΩ 程度であった。このため、ミリアンペアオーダの通電によって工具-被削材間で消費される電力はごくわずかであり高温切削のように温度上昇による被削材の軟化は期待できない。電流量と切削温度の関係は、電流が最大 20mA まで変化させても工具刃先温度はほとんど影響を受けないことが分かる。以上の結果や、BN 添加鋼切削時に工具表面に窒化物系保護膜が生成されにくい工具ほど通電の効果が大きいことから、微量通電下における BN 添加鋼旋削時のすくい面摩耗の抑制メカニズムとして、微量通電が BN 添加鋼切削時の特徴である工具摩耗を抑制する効果を持つ窒化物系保護膜の工具表面への生成を促進してことが考えられる。

## ②断続切削における効果

断続切削における工具-被削材間への微量通電が切削機構へおよぼす影響を明らかにすることを目的とし、超硬工具によるBN添加鋼の正面フライス切削において工具摩耗、切削抵抗および仕上げ面粗さの測定を行い、断続切削における工具-被削材間への微量通電が切削特性値に与える影響について標準鋼の場合と比較し検討を行った。以下に得られた結論を示す。

(1) 工具-被削材間に流す電流量によって、切削特性値に変化が現れ、適切な電流量を選択することによって、単に絶縁して電流が流れなくして切削する場合よりもよい切削特性値を示す切削条件が存在する。

(2) BN添加鋼では、電流量に対する切削抵抗の挙動が、電流量に対する工具摩耗量の変化傾向にほぼ一致している。このことから、工具摩耗を抑制するための最適な通電条件を選定する際、切削抵抗の変化に注意すれば、最適な電流量のおおまかな目安になり得る。

(3) 微量通電の効果は低酸素雰囲気中と比べ大気中で切削を行った方が受ける影響が大きく、微量通電による酸素吸着が、切削機構へ影響をおよぼした要因のひとつであると考えられる。

(4) 標準鋼と比べBN添加鋼は、微量通電による切削機構の改善効果が大きい。また、BN添加鋼では、低酸素中でも微量通電の効果を得られることから、最適な電流量と低酸素を組み合わせることによって、高速ドライ切削における工具摩耗を大幅に抑制できる。低酸素中でも効果が認められたことから、微量通電が工具表面に生成する酸窒化物系保護膜特性へ影響をおよぼした可能性が考えられる。

これまでに申請者は新しく開発されたBN(窒化ホウ素)添加鋼の性能評価を行いそのメカニズムの解明に努めてきた。この材料は材料中のAlとBNからAlNが生成し、自己修復性を有する保護膜として工具に付着し工具摩耗を抑制するものである。このような材料中の介在物がそのままのかたちで工具表面に付着するのではなく、材料中に含まれる介在物が切削中の高温・高圧下における反応を経て特定の元素が選択的に付着するケースは極めて珍しい。これまでこのような切削中に起こる有益な反応と微小電流による電気化学的作用を結びつけた研究はなされていらない。しかしながら切削中に起こる反応と印加される電流の間には密接な関係があると考えられ、最適な通電条件が存在し、工具摩耗が大幅に改善される可能性や切りくずの排出性、凝着量を制御することにより仕上げ面の品位向上も望める。これらの調査結果は、自己修復性を有する保護膜の工具への

付着機構を解明する糸口となるだけでなく、今後の工具および快削鋼の開発の方向を左右すると言える。

このように、この手法は工具と被削材、切削雰囲気との適切な組み合わせが選択出来れば、ドライ加工において工具寿命を大幅に延長することが出来る有効な手段のひとつとなり得ると考えられる。

## 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3件)

①田中隆太郎, 林 勇伝, 細川 晃, 上田 隆司, 古本 達明: 高速対応型快削鋼の被削性に及ぼす微量通電の効果-旋削時における電流モニタリングと工具刃先温度-, 2007年度砥粒加工学会学術講演会論文集(2007)2007年9月5日~7日

②林 勇伝, 田中隆太郎, 細川 晃, 上田 隆司, 古本 達明: 切削系における微量通電による工具摩耗抑制の試み-BN添加鋼の微量通電切削-, 日本金属学会・日本鉄鋼協会北陸信越支部平成18年度連合講演会概要集(2006)72. 2006年12月2日

③林 勇伝, 田中隆太郎, 細川 晃, 上田 隆司, 古本 達明: 高速対応型快削鋼の被削性に及ぼす微量通電の効果(第2報)-工具材種による影響-, 2006年度精密工学会秋季大会講演論文集(2006)CD-ROM 2006年9月19日~22日

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 隆太郎 (TANAKA RYUTARO)

金沢大学・機械工学系・助教

研究者番号: 60361979