

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 7 日現在

機関番号：15401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23760111

研究課題名（和文） 高速対応型快削鋼の切削におけるセラミック工具の工具摩耗抑制手法の確立

研究課題名（英文） Establishment of tool wear suppressing method for ceramic tool in cutting of free-machining steel for high speed machining

研究代表者 田中 隆太郎 (TANAKA RYUTARO)

広島大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：60361979

研究成果の概要（和文）：旋削加工において BN 添加鋼を被削材とすることで普通鋼と比べて大幅に長い工具寿命を得ることが出来た。特に TiC 添加アルミナセラミックが優れた切削性能を示し工具寿命基準を逃げ面摩耗が 0.3mm としたときおよそ 10 時間の工具寿命を得ることが出来た。正面フライス切削においても TiC 添加アルミナセラミック工具を用いれば、切込みを小さく抑えて加工すればある程度の時間、加工の継続が可能であることが分かった。

研究成果の概要（英文）：The tool lives in turning of BN free-machining steel were obvious longer than those of standard steel. In particular, the tool life of TiC added alumina ceramic tool reached about 10 hours in the case that the tool life criteria was set at VB=0.3mm. This tool life was twice as long as that of coated carbide tool. In intermittent cutting, when depth of cut was set at relatively small, TiC added alumina ceramic tool was able to be used.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：機械加工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：セラミック工具，機械構造用炭素鋼，BN 快削鋼，旋削加工，正面フライス切削工具摩耗，ベラーク，切削温度

1. 研究開始当初の背景

近年，製品の差別化を図る目的で素材としてオーバークオリティな材料を用いる傾向が見られるが，構造物のサイズが大きくなると，そのすぐれた機械的特性やコスト的な観点からも機械構造用炭素鋼が採用される。機械構造用炭素鋼の切削加工には，超硬工具やこれらに硬質膜を被覆したコーテッド工具が多用されている。これらの工具は希少金属であるタンゲステン，コバルトなどを多く含有している。これらの元素は優れた材料特性を有するため各種合金として重用されているが資源的に希少で，その確保が困難になることが予想されるため機械加工業界の中では使用済みの切削工具をリサイクル

する動きや超硬工具以外の工具に置き換えようとする試みも叫ばれるようになりつつある。

セラミックは資源的に豊富であり，硬度や化学的安定性が高く切削工具として高い潜在能力を有しているが，炭素鋼の切削加工においてセラミック工具の切削特性は，超硬などと比べるとチップング等の突発的な損傷の頻度に対して工具摩耗による寿命があまり高いとは言えず，積極的に使用されているとはいいがたい。鋼材のうち機械加工されることを前提とされている快削鋼の生産量が年間 100 万トンペースで推移しており基本鋼も含めるとかなりの使用量となる。この切削加工にセラミック工具を有効に活用でき

ば、長寿命化(4倍を期待)による工具費の抑制、高速化(1.5倍を期待)による加工時間などの削減により加工能率の向上が期待できる。機械加工される普通鋼と特殊鋼の半分(普通鋼400万トン、特殊鋼100万トン)をセラミック工具で機械加工すると仮定し、節約できる金属タングステンを大まかに見積もると年500トンであり工具として使用される総量の約1割となる。

セラミック工具で切削時の炭素鋼したときの工具摩耗を抑制する方法として成分調整された快削鋼の採用が考えられるが、その種類によっては、鋼中の非金属介在物との反応性を示しセラミック工具の摩耗を促進させる恐れがある。申請者はこれまでに、“窒化ホウ素快削鋼”の被切削特性について研究をおこなっている。このなかでセラミック工具についても多少の調査をおこない、工具寿命の延長に有効性が認められるものの、切りくず折断性はさほど高くないことを明らかにしている。工具摩耗については、切削中に工具と被削材の間に窒化物系保護膜が工具と被削材の直接接触を防ぐことで粒子の脱落を抑制するメカニズムが考えられている。この快削鋼については、申請者らが鉄鋼メーカーと共同でおこなった研究の他に報告はみられない。これらの成果は、被削材の量が試作品で限られていたため短時間の寿命試験しかなされておらず、最適なセラミック材種も明らかではない。セラミック工具の使用を広げていくためには市販材をもちいたさらに詳細な評価の必要がある。このような工具表面に工具摩耗を抑制する保護膜を生成するような被削材を切削するときの詳細な摩耗機構を解明することは、特に高速切削の可能性を論じる際にはなくてはならない知見である。

また、申請者は、機上におけるレーザを用いた被削材の選択的熱処理が炭素鋼の旋削加工における切りくず処理性の向上に有効であることを明らかにしている。この手法を窒化ホウ素添加鋼の旋削加工に用いれば、セラミック工具を用いた構造用炭素鋼の高能率切削における切りくず折断性の低さを添加物に頼ることなく改善することできると考える。なお、窒化ホウ素添加鋼のコスト増加は標準鋼と比べおよそ0.2%程度とごくわずかである。

2. 研究の目的

セラミック工具を用いた機械構造用炭素鋼の高能率切削を実現するために、窒化ホウ素添加鋼による工具寿命延長効果および最適セラミック材種の選定について検討を行う。セラミックが優れた材料特性にもかかわらず炭素鋼の切削加工に積極的に用いられない理由として考えられる。機械構造用炭素

鋼をベースとした高速対応型炭素鋼の連続切削におけるセラミック工具の切削特性の評価、工具摩耗メカニズムの解明および工具の長寿命化に向けた取り組みをおこなう。軽度の断続切削で、切削時の工具摩耗の程度とチッピングの頻度の関係について検討する。

3. 研究の方法

本研究は、炭素鋼の切削においてこれまでほとんど用いられてこなかったセラミック工具をいかに適用させ高能率加工をはかることを目的にしている。セラミック工具は、その優れた特性からドライ加工において高能率切削加工をおこなう条件を有していると考えられる。しかし、工具寿命やチッピングの問題から炭素鋼の切削加工にセラミック工具を積極的に用いようとする動きは近年ではあまり見られていない。実験では種類が違ういくつかのセラミック工具で窒化ホウ素添加鋼を切削したときの工具摩耗特性の違いについて調査をおこない、最適なセラミック材種を絞り込む。また、実用化をにらみ断続切削における評価もする。切削温度、切削抵抗、仕上げ面粗の測定も行い工具摩耗の挙動と合わせて摩耗抑制メカニズムについて検討をおこなう。工具摩耗部分の観察では光学顕微鏡に加えEPMA(電子プローブマイクロアナライザ)を用いた観察も行った。切削温度の測定では光ファイバから2色温度計を用いた。この温度計を用いれば工具-被削材熱電対法で測定が出来ないアルミナセラミックのような電気導電性がない工具についても切削温度の測定が可能である。

4. 研究成果

本研究では、高速旋削時に優れた被削性を示すBN添加鋼への適用性を評価した。BN添加鋼は高速旋削時において工具に窒化物系の保護膜が形成され、最適な工具材種を選択すれば工具寿命が格段に延長できることが知られている。今回は工具の摩耗特性について調査を行った。2種類のセラミック工具の工具寿命は、 $VB=0.2\text{mm}$ とするとS45C切削時は10-20min程度であったが、BN添加鋼を切削すると純アルミナセラミック工具が40min、TiC-アルミナセラミック工具が300minと大幅に延長された。TiC-アルミナセラミック工具による切削では摩耗の進行速度はほとんど変化せず、逃げ面最大摩耗幅 $VB_{\text{max}}=0.3\text{mm}$ まで切削しても安定した切削が可能で600minの切削ができた。S45Cを切削したいずれのセラミック工具の摩耗面にも粒子の脱落によって形成されたと考えられる明確な溝状の擦過痕が見られる。一方BN添加鋼切削時において、いずれの工具摩耗面にも付着物が確認できる。純アルミナセラミック工具の摩耗面は部分的に付着物に

覆われている。また、TiC-アルミナセラミック工具の摩耗面はほぼ全面にわたって付着物に覆われていた。触針式3次元粗さ計により測定したすくい面の詳細な幾何学形状から、純アルミナセラミック工具、TiC-アルミナセラミック工具ともに S45C 切削時は摩耗が進行しているが、BN 添加鋼切削時にはどちらの工具も摩耗はほとんど進行せず、表面に付着物が確認できた。また、TiC-アルミナセラミック工具で BN 添加鋼を切削したときの方がその堆積物の量が多いことがわかった。この付着物は AlN を含有する窒化物系保護膜であることが考えられ、工具と被削材間の反応を抑制する保護膜として働き、粒子の脱落などを抑えることで工具摩耗の進行が抑制されたと考えられる。アルミナセラミック工具と比べ TiC-アルミナセラミック工具の切削温度が大幅に低いことが分かり、これも工具摩耗で大幅な差が見られた一因であると考えている。セラミック工具は工具材種の中でも熱伝導率が低い部類であり比較的切削温度が高くなりやすいが、セラミック工具間のわずかな熱伝導率の違いでもセ ss 買う温度へ大きな影響をおよぼすことが明らかとなった。

断続切削における切削性能を調べるために、マシニングセンタを用いた正面フライス加工による切削実験を実施した。s るみなセラミック工具はじん性が低いために安定した切削が出来ないことから TiC-アルミナセラミック工具について調査をおこなった。機械構造用炭素鋼 S45C と BN 添加鋼を被削材として鋼材への BN 添加が工具寿命、工具刃先温度および仕上げ面粗さにおよぼす影響について調べた。なお、ここで示す切削時間は空転時を含めた見かけ上の切削時間である。以下に得られた結果の概要を示す。なお、カット直径 100mm、被削材幅 60mm、 $V=250\text{m/min}$ 、送り $=0.15\text{mm/tooth}$ である。切り込みが 0.3mm と小さいとき、TiC-アルミナセラミック工具で BN 添加鋼を切削すると、S45C と比べて長い工具寿命を得ることができるが、切り込みを 0.6mm まで大きくすると BN 添加鋼の方が S45C よりも工具摩耗が早く進行し、S45C では確認されなかったクレータ摩耗が発生した。切り込みが小さいとき、BN 添加鋼を切削すると、工具刃先にはほとんどチッピングが発生しなかったが、切り込みが大きくなると BN 添加鋼も S45C と同様にチッピングが発生していた。工具刃先温度は BN 添加鋼を切削すると、S45C と比べて低い傾向にあった。また、切削速度 V 、送り f 、切り込み d の中で切削速度 V が工具刃先温度に与える影響が最も大きかった。仕上げ面粗さは、切り込みが小さいとき BN 添加鋼を切削すると、S45C と比べてわずかではあるが小さかった。一方で、切り込みが大きいと

き BN 添加鋼の方が S45C よりも仕上げ面粗さが大きかった。切削温度は連続切削と比べると低かった。

以上の結果から連続切削においては TiC アルミナセラミック工具が BN 添加鋼と組み合わせにおいて現状最も多く用いられているコーテッド超硬工具と比較し優れた切削性能を示すことが明らかにできた。また、このセラミック工具は BN 添加鋼の断続切削でも切込みが浅い場合に限られるが使用が可能であることが分かり用途の拡大が期待される。

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)

[雑誌論文] (計 2 件)

① R. Tanaka, A. Hosokawa, T. Furumoto and T. Ueda: 査読あり, Wear Characteristics of Ceramic Tools When Turning BN Free-machining Steel, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing (2013) Vol. 7 (2013) No. 3 pp. 474-484.

② R. Tanaka, A. Hosokawa, T. Furumoto, and T. Ueda: 査読あり, Cutting Performance of Ceramic Tools in Turning of Mild Steel, Key Engineering Materials, Vol. 523-524 (2012) 493-496.

[学会発表] (計 3 件)

① R. Tanaka, A. Hosokawa, T. Furumoto and T. Ueda: Cutting Performance of Ceramic Tools in Turning of Mild Steel, The 14th International Conference on Precision Engineering, 2012 Novenver 10th, Awaji Yumebutai International Conference Center, Hyogo, Japan

② 中村 哲也, 田中隆太郎, 中西 充, 細川 晃, 上田 隆司, 古本 達明: 炭素鋼旋削におけるセラミック工具の切削性能-BN 添加鋼への適用性の評価-日本機械学会北陸信越支部第 49 期総会・講演会, 2012 年 3 月 10 日, 金沢工業大学(石川県)

③ 中西 充, 田中隆太郎, 細川 晃, 古本 達明, 上田 隆司: 高速対応型快削鋼のドライマシニング—セラミック工具による BN 添加鋼の高効率切削—, 2011 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2011 年 9 月 20 日, 金沢大学 (石川県)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 隆太郎 (TANAKA RYUTARO)
広島大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：60361979

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：