

NACHI
**TECHNICAL
REPORT**
Machining

Vol. **23** A2
Oct/2011

マシニング事業

■ 寄稿・論文・報文・解説

「高硬度材の
断続切削における加工特性」
Characteristics for Intermittent Machining
of High Hardness Steel

〈キーワード〉 高硬度材・断続切削・仕上げ加工・
切削温度・超硬工具

精密工具製造所／技術部

山崎 格

Itaru YAMAZAKI

要 旨

近年、自動車の快適性への追及、環境への配慮・省エネ対策などから、構成部品に対する高精度化・高硬度化の要求が一段と高まっている。とくに、自動車、産業機械分野における部品に対して、ギアノイズ低減や部品の強度アップのため、焼入れされた高硬度部品を加工するニーズが増えている。

超硬エンドミル、超硬歯切り工具をはじめとして、超硬工具による高硬度材の断続切削の用途は多いものの、その切削温度特性や被削材への影響については、十分に検討されていない。

そこで、本稿では、超硬工具による歯切り、ブローチ加工を想定し、旋盤による高硬度材の断続切削を行ない、切削温度を中心に、その加工特性について評価したので報告する。

Abstract

Recently the high precision and high hardness of component parts have been greatly demanded because of pursuit of comfortable driving of an automobile, consideration of the environment and energy-saving measures. In particular, the need of machining the quenched parts with high hardness has increased in order to reduce gear noise and to increase the strength of parts for automobiles and industrial machines.

The high hardness steel that is intermittently machined with carbide tools such as carbide end mills and carbide gear-cutting tools are widely used in many areas. However, the characteristics of cutting temperature and impact on the steel are not sufficiently examined.

Thus, the article covers the evaluation on the impact on machining characteristics (such as materials, tools and quality) from cutting temperature in the intermittent-lathing of high hardness steel, in order to confirm the qualities of both gear cutting and broaching with carbide tools.

1. 切削温度特性を知ること

近年、熱処理された高硬度材を超硬工具で加工するニーズが増えている。しかしながら実際の加工現場において、その切削温度や加工特性を知ることが容易ではない。とくに切削温度については、目に見えず、測定自身が困難である。切削温度特性を知ること、切削温度が加工品質に及ぼす影響や、加工条件の選定、工具摩耗を抑制するための手段として十分に活用できる。最近では、コンピュータシミュレーションソフトを活用し、切削温度を予測できるようになってきているが、解析手法自身はブラックボックス化されており、パラメータの与え方、メッシュの与え方によって解析値が変わることがある。実際の切削温度特性を知ることが、解析の信頼性を高める上でも有意義なことであるといえる。



超硬ホブ



超硬ブローチ



超硬エンドミル

図1 高硬度材を断続切削する超硬工具 例



2. 実験の方法

1) 実験の方法

実験では、高硬度材を加工する歯切り工具を想定し、旋盤による断続切削を行なう。

図2に示す円周6か所に溝を付けた被削材クロムモリブデン鋼SCM440 (60HRC)を超硬チップにて切削し、断続切削とした。表1に加工条件を示す。

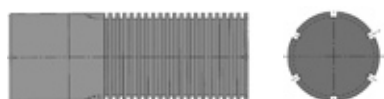


図2 ワーク形状

表1 加工条件

被削材	クロムモリブデン鋼 SCM440 (60HRC)
工具材料	超硬 (コーティング無し) 超硬 (TiAlN系コーティング)
形状	すくい角 -10° 、逃げ角 1°
切削速度	5~60 m/min
切込み量	0.025~0.1 mm/rev
クーラント	ドライ (無し)

2) 切削温度の測定

従来、切削温度の測定方法として、被削材の切りくずの色による判別法や、放射温度計を用いる方法、赤外線写真による方法、工具又は被削材中に熱電対を挿入する方法などがあるが、今回、比較的簡単に信頼性の高い評価を行なうことが可能な“工具-被削材熱電対法”を用い、工具と切りくずの接触面の平均温度を測定することとした。“工具-被削材熱電対法”とは、工具と被削材との間に熱電対を構成し、工具と被削材との間で生じる熱起電力を利用して工具刃先温度 (切削温度) を測定するものである。被削材からの熱起電力の取出しにはスリッピングを用いた。図3にその実験の概要図を示す。

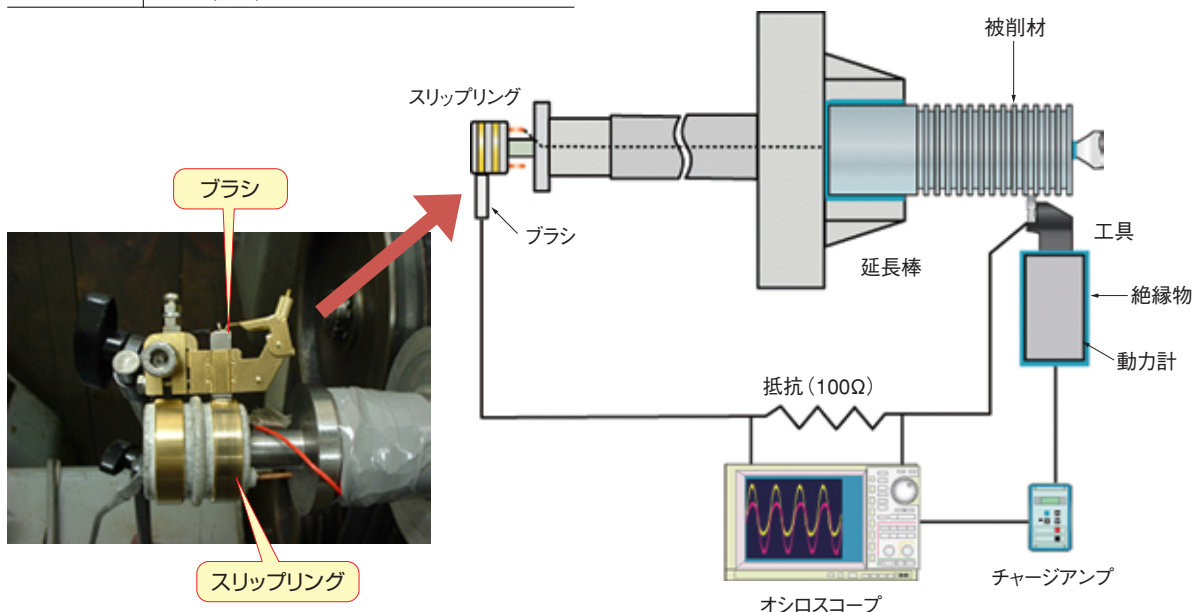


図3 実験方法

3) 温度校正

発生する熱起電力から温度を求めるためには、事前に電気炉にて校正をする必要がある(図4)。超硬と被削材である焼入れ鋼を電気炉の中に入れ、温度変化させることにより、発生する熱起電力と温度の関係が得られる(図5)。

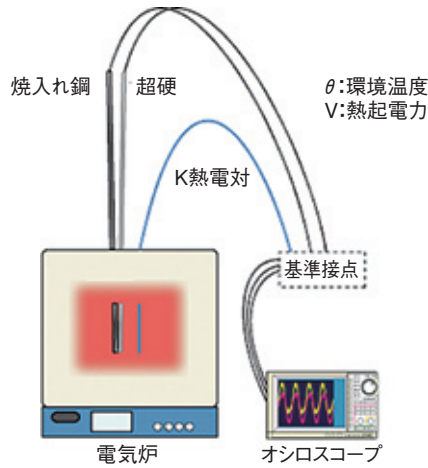


図4 温度校正方法

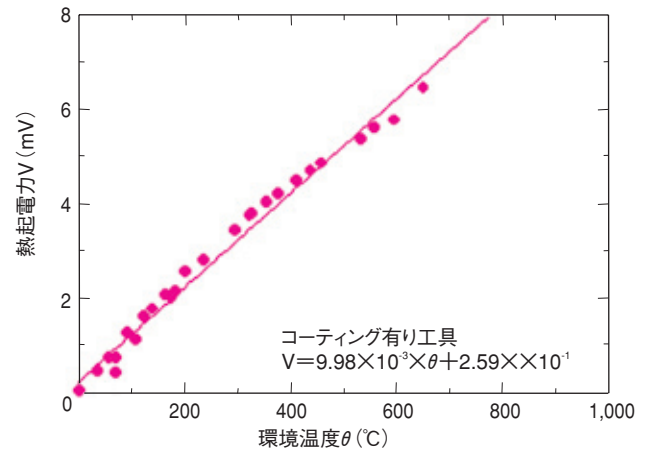


図5 温度校正結果

これにより、発生する熱起電力から切削温度が求まる。超硬工具は、①コーティング無し、②コーティング有りの場合、それぞれ実施し校正する。

3. 得られる熱起電力波形と切削温度波形

図6は断続切削中の熱起電力波形、図7は校正値を用い熱起電力から切削温度に変換し、その波形1山を拡大したものである。切削温度は、0.001秒

という非常に短時間で、定常状態に達していることが特徴である。

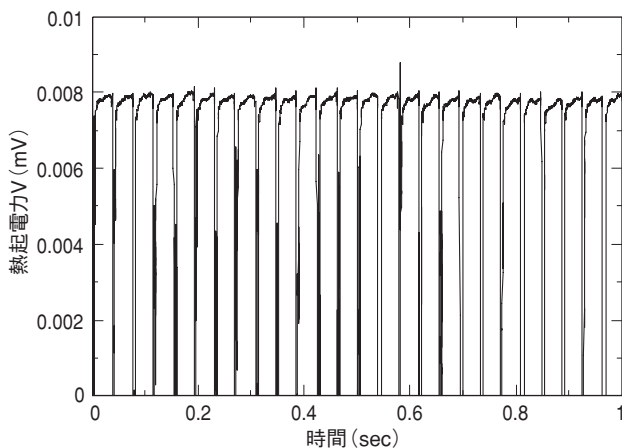


図6 断続切削中の熱起電力波

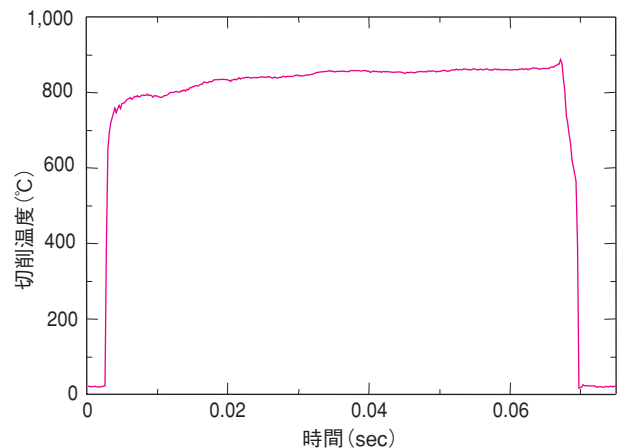


図7 切削温度波形の拡大

(超硬工具コート無し、切削速度60m/min、切込み0.05mm/rev)

4. 切削過程における切削温度の推移

図8は、切削開始部分の切削温度波形を拡大したものである。これより区間A～Cの3つの領域がみられる。区間A部は直線的な上昇を示し、区間Bでは緩やかに上昇、区間Cでは徐々に定常状態になる。区間A(切削距離0.5mm)までに定常状態の80%、区間Bでほぼ定常に達していることから切削過程初期に急激に温度上昇していることが分かる。これは、切りくず生成と密接な関係があると推定される。図9の切りくず生成モデルに示すように、区間Aでは切りくずは生じておらず急激な塑性変形が起こり、

その領域拡大とともにせん断面でのエネルギーも急激に増加し、それに伴い切削温度も急激に上昇する。区間Bでは、切りくずが生成され始め、すくい面と切りくず間の摩擦熱なども付加されるために切削温度は上昇するが、安定した塑性変形に近づくことや、発生した熱が周囲に伝播していくため緩やかな上昇となる。区間Cでは、塑性変形が安定し、安定した切りくず生成となる。ここでは区間Bよりも広い範囲に熱が伝播していき、切削温度も安定してくるものとみられる。

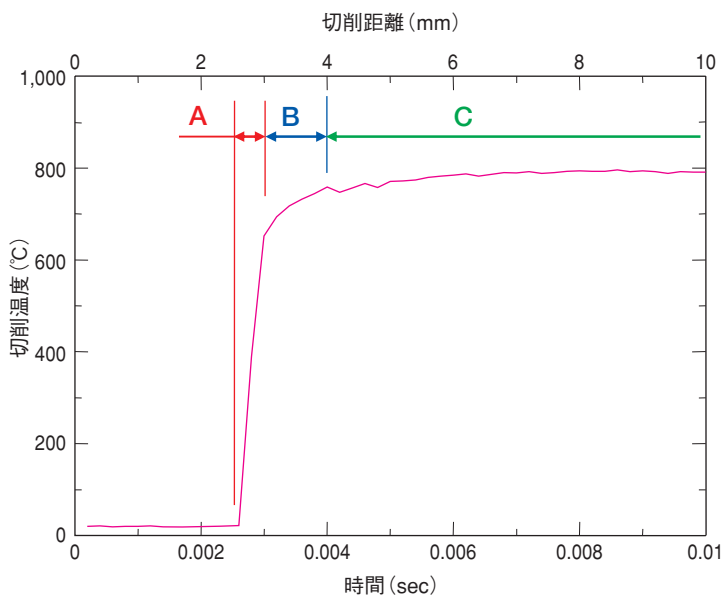


図8 加工開始時の切削温度波形

(超硬工具コート無し、切削速度60m/min、切込み0.05mm/rev)

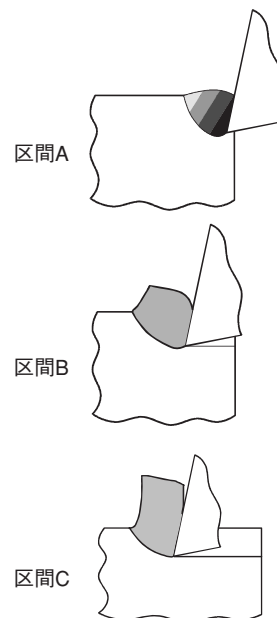


図9 切りくず生成モデル

5. 切削温度上昇速度

図8における区間Aの直線の傾きを単位時間当たりの切削温度上昇速度とし、各速度別にプロットしたものが図10である。S45C(200HB)¹⁾とSCM440の焼入れ鋼(60HRC)において、2,000°C/msecに達する切削速度を比較すると、S45Cでは100m/min、SCM440焼入れ鋼では、50m/minの速度で達している。高硬度材の温度上昇は、S45Cに比べ、約2倍の温度上昇を示しており、定常温度に達するまでの時間が非常に短いことが分かる。焼入れ鋼は、S45Cに比べ硬さが硬く切削開始の塑性変化に要する仕事量が大きくなるからである。旋盤により、一般的に用いられているような条件下では、切削温度を低下させることは、難しいといえる。

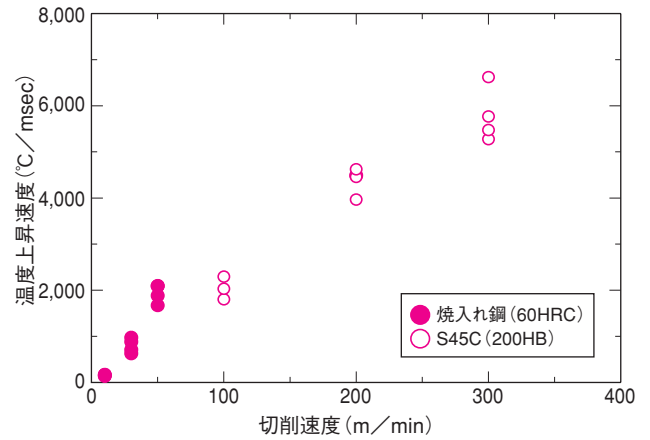


図10 切削温度上昇速度

6. コーティングと切削温度

図11は、切込み0.1mm/rev、コーティング有り無し工具における切削速度と切削温度の関係を示したものである。両者共に、切削速度の上昇に伴い、切削温度が上昇していることが分かる。コーティング有り無しによる差は顕著には見られなかった。コーティング工具の持つ耐熱性などにより、工具の母材に流入する熱は減少していると考えられるが、切削温度そのものを低下させることは困難である。

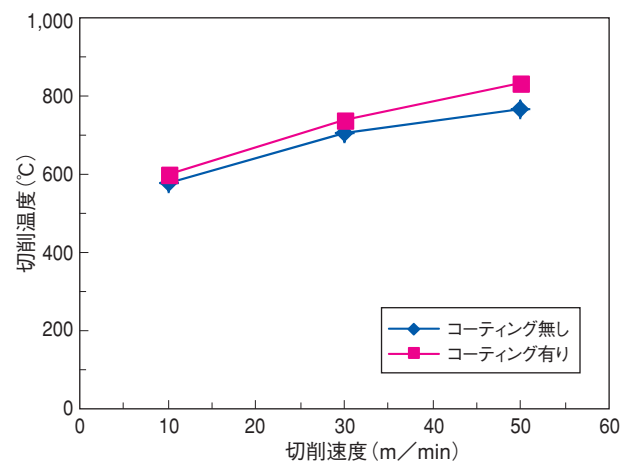


図11 コーティング有無と切削温度

(切込み0.1mm/rev)

7. 被削材への影響

図12は、切込み0.05mm/rev、切削速度5、10、30、50m/minにおける切削速度と加工後の被削材硬さの関係である。任意の3点で測定したビッカース硬さを×印で表わし、その測定値の平均値を算出したものを図中の青色曲線で表わしている。破線は、加工前の被削材の表面硬さを表わしており、832Hvである。加工後の被削材表面の硬さは、切削速度5～10m/minでは、加工前とほぼ等しい硬さを有していた。しかし、切削速度30m/minにおいては812Hv、50m/minでは762Hvと大幅に減少していく傾向が

見られた。これにより、切込みが0.05mm/revの条件において、切削速度が10m/min以下であれば被削材の熱軟化は生じないものといえる。図12の横軸を切削温度に置き換えると、図13の切削温度と加工後の被削材硬さを示したグラフとなる。切削温度が500℃を超えるような場合において、加工後の被削材表面の硬さが低下することが分かる。これによりSCM440での表面の熱軟化は、切削温度500℃を超えるような切削条件の際に生じるといえる。

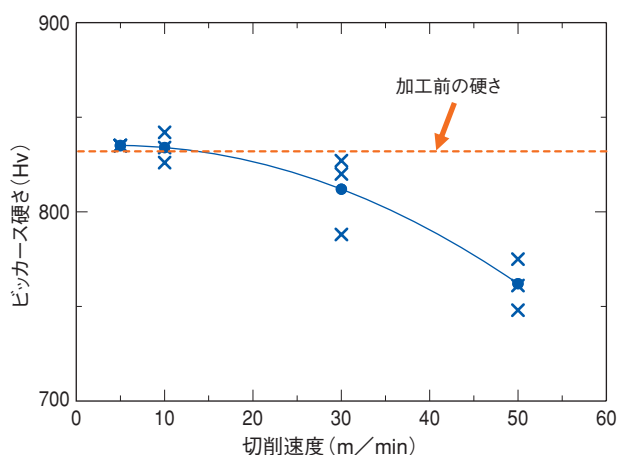


図12 切削速度と被削材の硬さ

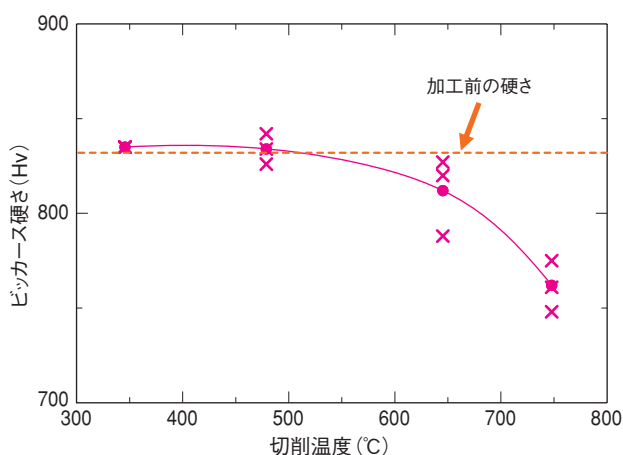


図13 切削温度と被削材の硬さ

(超硬工具コート有り、切込み0.05mm/rev)

8. 熱軟化抑制に向けて 切込み違い

焼入れ鋼SCM440の熱軟化を抑制するためには、切削温度を500℃以下にする必要がある。切込みを小さくしていった場合、図14のように徐々に切削温度が低下していく様子を確認できる。本実験では、実験装置の最小切込みが0.025mmあるためそれ以上の小さな切込みにおける測定はできなかったが、切込みをさらに小さくすることができれば、熱軟化を生じない低い切削温度による加工が可能であると考えられる。

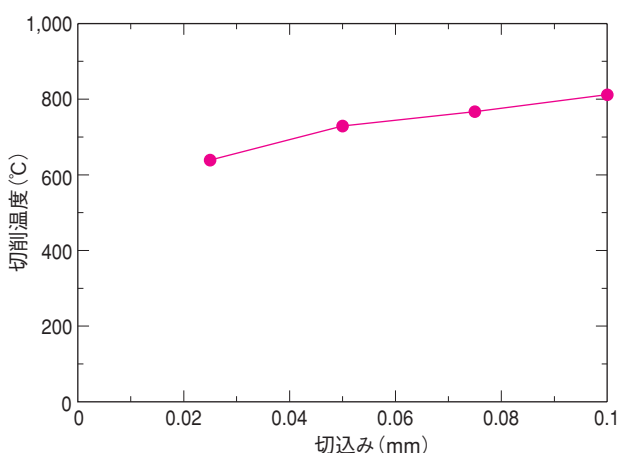


図14 切込みと切削温度

(超硬コート無し、切削速度30m/min)

9. おわりに

今回、高硬度材の断続切削の評価を行ない、S45C (200HB) と比べ、高硬度材は非常に短時間で切削温度が上昇することや、被削材へ及ぼす影響、加工条件による違いについて分かってきた。従来は、切りくずの色などから切削温度を推測することが多かったが、今回の実験手法は、ワークの品質におよぼす影響や切削条件の選定する手段として有効に活用できる。

今後、超硬工具を用いた高硬度材を加工する需要は、増々増加してくると思われる。これらの技術は、ブローチ、歯切り工具、エンドミルなどの高硬度材の断続切削における加工条件の選定や、工具寿命対策、コーティングの選定などに幅広く展開が期待される。NACHIの持つコア技術(工具、材料、機械など)を融合させ、今後は新しい加工システムの開発にとり組み、常に一步先を行く加工システムを提案していきたい。

参考文献

- 1) 柴坂ほか:2003年精密工学会秋季大会学術講演論文集 (2003) 133.

関連記事

- 2) 山崎ほか:2008年精密工学会秋季大会学術講演論文集 (2008) 63.
- 3) 山崎ほか:2009年精密工学会秋季大会学術講演論文集 (2009) 123.