

北見工業大学 ○工藤 章 杉野 豪 久保 明彦 北川 武揚

エンドミルやフライスによる断続切削で工具の損傷を解析する場合、工具面の温度を知ることはきわめて重要である。この目的のため、空切削時でも測定できる温度測定用工具を考案し、エンドミル切削の模擬実験としてチタン合金円板の半径方向断続傾斜切削を行った。この手法により切削時、空転時連続して非定常温度を測定でき、その結果について、従来法による温度測定と比較、測定精度と定常温度に至る切削初期の非定常過程及び空転時の温度低下等を検討し、用いた温度測定用工具の有用性について述べている。

1. まえがき

チタン合金は耐熱性と軽量化を要求される構造物や機械部品に多用され、エンドミルによる切削の機会が増大している。このようなエンドミルによる断続切削時の工具損傷解析において、旋削加工のような連続切削での工具面定常温度を対象にできない。特に小径エンドミルによる断続切削では、一刃当たりの切削距離が短く、切削初期の温度の影響を受けやすい。また熱サイクルによる工具損傷の解析においても、切削時と空転時の温度変化がどのようになっているかを知ることは有意義と思われる。本研究では、このようなエンドミルによる断続切削を、大きな傾斜角をもつ工具による溝付き円板の断続旋削に近似した模擬実験を行い、特別に考案した温度測定工具による断続切削及び空切削時の工具面非定常過程温度を実験的に解析し、同工具の性能を検討した。

2. 供試材と実験方法

被削材はTi-6Al-6V-2Sn チタン合金で、図1 (a) に示すように外周に切削距離が6, 12, 24, 48, 96mm となるよう30mm長さの溝加工した厚さ3.4mm、直径120mmの円板である。工具には傾斜角30°、すくい角5°の超硬 K20

を使用し、切削条件を切削速度 30m/min、切削厚さ(送り) 0.1mm の半径方向傾斜乾切削とした。温度測定用工具は、分割した工具面内に幅、深さ共に30μmのU字型溝を放電加工してアルミナコーティングタングステン線(φ25μm)を埋め込み、セラミックス系接着剤で充填固定、これを合わせ一体としてタングステン線をすくい面に露出させたものである。切削中、露出タングステン線の絶縁は破れ、この点を温接点とするタングステン線と工具の熱電対(Tu-To熱電対)が構成されるため、断続切削中の工具面局所温度を連続的に測定できることになる。この温度測定用工具の特徴は、タングステン線と工具の1回だけの熱起電力-温度校正実験で金属、非金属を問わずあらゆる材料の切削温度をその都度温度校正を必要とすることなく測定でき、またスリッピングを必要としない利点があり、今後の広い利用が期待できる。一方、従来の工具一切りくず熱電対(To-Ch)による平均温度や、工具中に埋め込んだタングステン-切りくず熱電対(Tu-Ch)局所温度は、空切削時に熱電対回路が遮断するためこの間の温度測定ができない欠点があるが、切削中確実に温度測定が可能であり、測定精度を比較するうえで図1 (b) に示すような三組の方法による熱起電力をデータレコーダーに記録して、温度測定を行った。ただし、図中の回路に示す各熱電対の熱起電力特性から、三組を同時に測定することはできなかった。

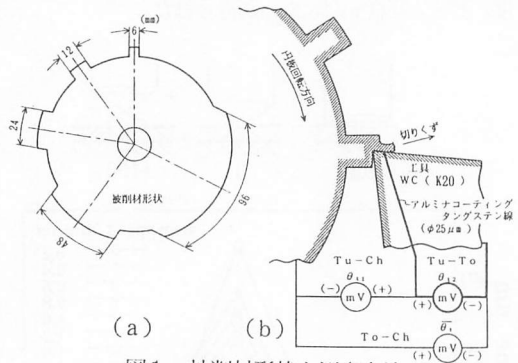


図1 被削材形状と測定方法

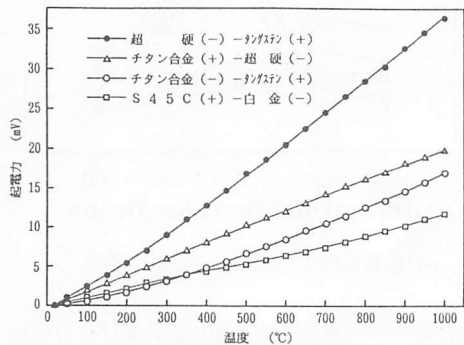


図2 温度校正曲線

### 3. 実験結果と検討

図2はアルゴンガス雰囲気中の電気炉中で校正した各熱電対の熱起電力特性で、超硬工具には6x20x300mmの角棒を用いている。特に、超硬とタングステンの熱起電力は他の熱電対に比べて大きく、かつ高温域で直線性を保つことも大きな特徴と言える。図3は、従来のTu-Ch熱電対法で測定された工具すくい面の連続切削定常温度分布である。図中にTo-Ch熱電対法による測定平均温度を一点鎖線で示してある。断続切削の温度測定位置は切刃から0.15mmの点で、その点のTu-To熱電対法による定常局所温度を○印で示した。図4は、断続切削3回転後の三組の方法で測定した時間経過についての温度変化である。ただし(b)、(c)の方法では空切削中に切りくずの接触が断たれるためこの間の温度変化は測定できないが、(a)のTu-To熱電対法によれば空切削時の温度低下が明瞭に現れている。同図(a)及び(c)の局所温度変化は全く同じで、切削距離約38mm切削後に温度が定常に達しているが、(b)のTo-Ch熱電対法による平均温度では約15mmで定常に達している。この局所温度が定常になるまでの時間遅れは、工具が分割工具のためすくい面のタングステン露出部において、切削中約30 $\mu$ m深さの切りくずの堆積が避けられず、このための時間遅れとも考えられる。これを確認するために、アルミナに微細白金線を埋込み焼結した工具を用い、S45Cを切削して局所温度を測定した結果(この場合に切りくずの堆積は微小)を図5に示す。被削材、工具材及び切削条件に差があるものの、平均温度と同じ切削距離約15mmで定常温度に達しており、図4(a)、(c)の局所温度はこの切りくずの堆積の影響を受け、その時間遅れは平均温度が定常値に達する時間の約2.5倍であることがわかった。したがって、図(a)、(c)の経過時間を1/2.5に短縮すれば切削時と空転時の正確な温度変化を求めることができる。図6は、同一条件で計算された温度変化<sup>1)</sup>と、図4(a)の方法で測定された局所温度変化である。計算温度は、切刃から0.14mmの点の温度であるため若干の差があるが、実測局所温度の時間経過を1/2.5に短縮すれば、計算値とも良好な対応を示すことがわかる。エンドミル切削における1刃当たりの切削距離は、例えば直径10mm 2枚刃のエンドミルで、切込み0.5mm、1刃当たりの送り0.2mm/刃、回転数1000rpm(切削速度30m/min相当)の時、切削厚さ0.045mm、切削距離2.24mmと非常に短く、断続切削時の刃先温度は連続切削のような定常温度には達せず、上記の実験から判断してもかなり低いものと考えられ、一方空転時の急激な温度低下を伴う熱サイクルの生じていることが明らかである。

4. まとめ

断続切削中に、切削時と空転時を連続して測定できる温度測定用工具を考案し、同工具により断続切削非定常温度の測定が可能となった。

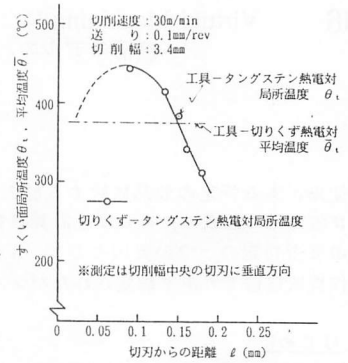


図3 すくい面温度分布

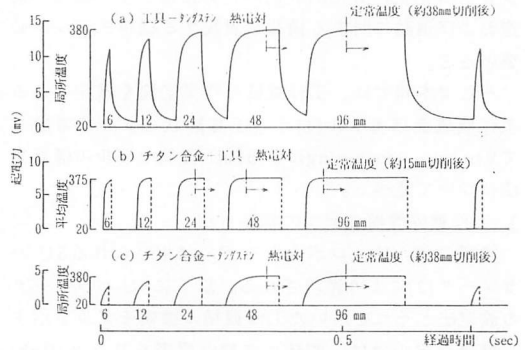


図4 すくい面温度の時間変化

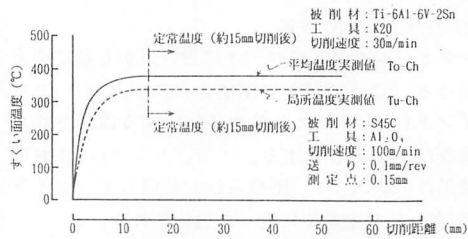


図5 異なる切削条件との比較

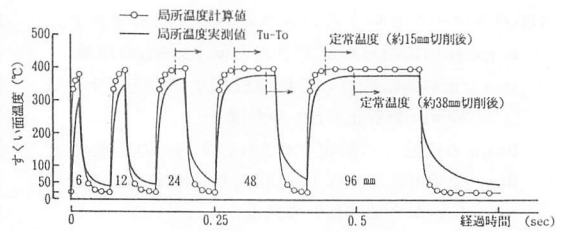


図6 実測値と計算値の時間変化

### 参考文献

- 1) 叶ほか：精密工学会1994年度北海道支部學術講演論文集『断続切削工具面温度の数値解析』