

北見工業大学 ○北川武揚 杉野 豪 久保明彦 田牧純一

要旨

工業用アルミニウムの超高速連続二次元切削で平均切削温度と切りくず変化の測定を行い、過去の研究と比較し温度低下速度域の存在について検討、さらにチタン合金断続切削温度の測定結果からエンドミルによるチタン合金超高速切削の可能性について言及している。

1. まえがき

高能率、高精度切削加工を目指し、高速切削工作機械や耐熱性工具の開発が進められ、これによる製品の品質向上とコストダウンに熾烈な努力が続けられている。特に円高不況の最中、機械加工費低減は今日重要不可欠な課題と思われる。本研究では、このような観点から超高速切削の可能性とそのメリットを過去の研究^{1) 2)}を参考に、二、三の実験を行って比較検討した。

2. 超高速切削と"Salomonの死の谷"

日進月歩の切削加工技術が向上する中で超高速切削の定義は定かでないが、通常の微小切込み研削作業における研削速度は2000~3000m/minであるのに対し、切削加工では切削条件、工具材及び被削材により大きく異なり、たとえば超硬工具によるアルミニウムの常用切削速度は200~400m/min、軟鋼のサーメットあるいはコーテッド工具による切削でも300~500m/minの範囲と言われている。したがって、ここでは一応常用される高速切削速度を超えるような切削速度域を超高速切削と定義することにする。図1は、各種材料について、広範な速度条件で切削を行った結果、切削不能の速度域いわゆる"Salomonの死の谷(1931)"の存在を予測し、超高速切削により再び切削温度が低下、切削可能となることを示唆した¹⁾ものである。同様の研究は、伊藤(1950)によっても追跡され、青銅とアルミニウムの切削でそれぞれ1000及び1700m/minを超える超高速速度域で再び切削温度の低下することを明らかにしている²⁾。しかし、いずれの場合も、もし連続切削であれば切りくず生成、構成刃先(BUE)の存在あるいは切りくずの形態(たとえば流れ形かせん断形か)に大きな変化なくして超高速切削と言えども切削動力の低下は考え難く、切削温度低下速度域の切りくず生成に何らかの変化のあることが予想される。

3. 実験及び検討

3.1 銅及びアルミニウムの超高速連続切削:

直径240~540mmの厚さ3mm円板による半径方向二次元切削を行い、各種速度域で工具-切りくず熱電対法により測定された平均温度を図2に示す。ただし、使用工具は超硬K20、すくい角 $\alpha=5^\circ$ 及び 15° を用い、送り(切込み)は $f=0.022$ と 0.05 mm/revの二種類で、工作機械の能力から大きな切込みを設定できなかった。被削材はロットの異なる工業用純アルミニウム板A1100(a)及び(b)と工業用純銅板C1100を用いた。銅及び $f=0.05$ mm/revのアルミニウムでは、切削速度Vの上昇に伴って平均温度 $\bar{\theta}_t$ は単調に増加するだけでとりわけ著しい変化を示すところは見られないが、アルミニウムの低送り $f=0.022$ mm/revでは $\alpha=5^\circ$ 及び 15° 、

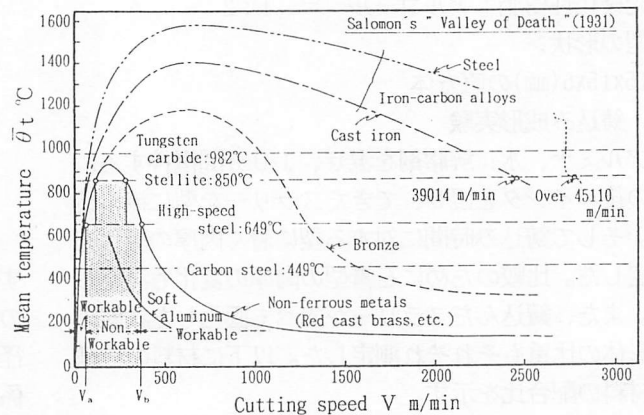


図1 Salomonの超高速切削

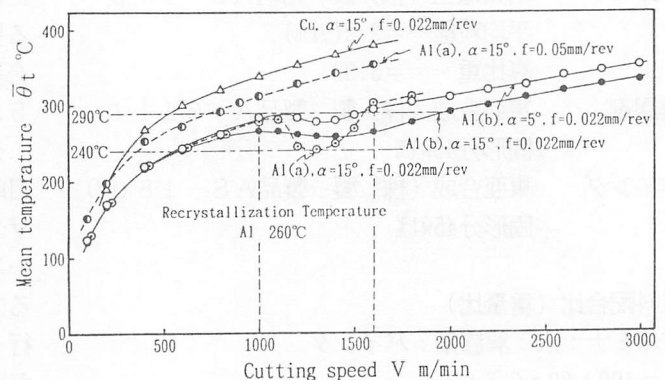


図2 超高速切削と平均温度の変化

Al(a)材及びAl(b)材共に切削速度Vの上昇に伴い、 $V=1000\sim 1600\text{m/min}$ 付近で $\bar{\theta}_t$ の低下する領域が存在する。この傾向は特にAl(a)材で顕著であるが、実験速度範囲の $1600\sim 3000\text{m/min}$ の超高速域では再び切削速度の上昇に伴ない単調に上昇している。この平均温度 $\bar{\theta}_t$ が変化する速度域はすくい角 α により若干差があるが、 $\bar{\theta}_t$ の低下する速度域の平均温度は $240^\circ\text{C}\sim 290^\circ\text{C}$ の範囲でその平均値は工業用Alの再結晶温度 260°C にほぼ一致し、この範囲で切りくず生成に大きな差のあることが予想される。図3は、Al(b)材について各切削速度で測定された切りくず平均厚さ t_2 を平均温度と対比して示したものである。同図より 1100m/min 付近で切りくず厚さが急激に減少する領域があり、それ以上の高速域では漸減し、ごく高速域での変化は僅かに減少するだけである。このことから超高速域での切削抵抗に大きな変化がなく、正味切削動力は切削速度と共に増大するものと考えられ急激な温度低下は見込まれない。また 1100m/min 以下での切りくず厚さに \bullet \circ プロットで示すように測定値にばらつきもみられ、さらに光沢のない仕上面の観察からはBUEの発生していることが予想され、 $1000\sim 1600\text{m/min}$ 速度域での切削温度の低下は、Al材再結晶温度によるBUE消滅に起因していると考えられる。Salomon、伊藤の示した超高速切削における温度低下域はこのようなBUEの消滅あるいは切りくずが流れ形からせん断形のような切りくず形態の変化に対応して現れたものと考えられる。切削工具の摩耗が温度依存型をとるような場合、このような温度低下を伴う速度条件を選定すれば高能率切削も可能のように思われる。図4は、すくい角 15° の工具により生じたAl(b)材の温度変化域を含む代表的速度域での切りくず顕微鏡写真を示す。

3.2 チタン合金のエンドミルによる超高速断続切削： 耐熱性と比強度の大きいチタン合金は、熱伝導率の低さから切削温度が高く超硬工具K種による常用旋削速度条件はせいぜい 50m/min と言われているが、 $\phi 10\text{mm}$ コーティングエンドミルによる 600m/min の超高速切削の例³⁾がある。一般に工具の損傷は連続より断続切削で劣るとされているが、強ねじれ角エンドミルの場合の有効すくい角(切りくず流出方向)は $30^\circ\sim 40^\circ$ の値をとり、旋削工具では使用不能な鋭角すくい角を容易にとれるため、切削抵抗、切削温度は同一切削条件でもエンドミルにおいてかなり小さいことが予測され、かつ強ねじれ角のため機械的衝撃による損傷も大きく緩和できると思われる。

図5は、すくい角 5° のK20工具によりチタン合金Ti-6Al-4V-2Sn円板を半径方向傾斜断続切削を行って工具すくい面の局所温度時間変化を測定したものである⁴⁾。ただし、切削速度は 30m/min 、送り 0.1mm/rev で傾斜角に 30° を用いている。測定点は刃先より 0.15mm の点の温度であるが、定常温度状態に達する時間に遅れのあることがわかる。小径エンドミルによる小さい切込み条件では一刃当りの切削の切削距離は短く、工具面の温度は連続定常温度よりはるかに低いことが予想でき、断続切削では小径エンドミルによる超高速切削の可能性がこの図からも示唆できる。

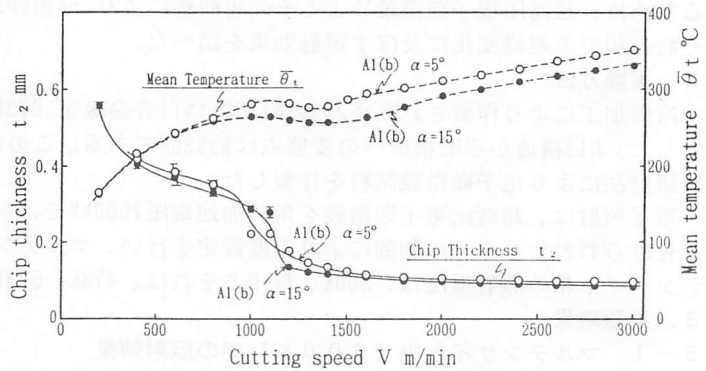


図3 超高速切削と切りくず厚さ、平均温度の変化

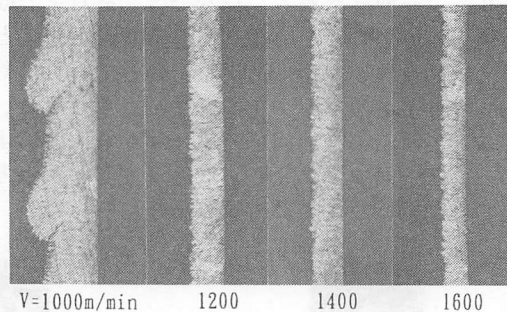


図4 各速度域における切りくず形態

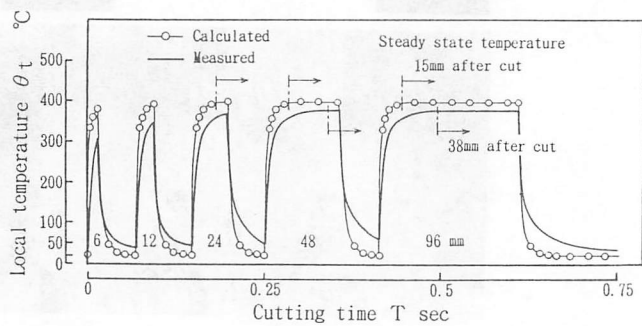


図5 傾斜断続切削における局所温度の時間的变化

参考文献

- 1) E. J. Tangerman: American Machinist, Dec. 29, p. 55-57, 1949
- 2) 伊藤 鎮: 日本機械学会誌, 55巻405号, p. 18-20 1950
- 3) 工藤ほか: 1994年度精密工学会北海道支部学術講演論文集, p. 9-10
- 4) 大島ほか: 1994年度精密工学会春季大会学術講演論文集, p. 179-180