

チタン合金 Ti-6Al-4V における構成凝着層を用いた工具保護効果

中央大学 ○鶴見純花, 石川広希, 伊津井裕人, 高橋幸男, 宋小奇, ◎井原透

要 旨

チタン合金は軽量かつ強度、耐熱性に優れているが、熱伝導率が低いいため工具寿命を著しく低下させる難削材に分類され、加工の高能率化と工具の長寿命化が課題となっている。そこで本研究では、工具を保護することで工具摩耗の抑制効果があると報告されている構成凝着層に着目し、チタン合金においても工具保護効果が生じるのか仕上げ面粗さ、凝着の状態などといった観点から調査した。

1. 緒 言

近年、製造業界の需要から多くの耐熱合金が開発され、難削材として知られている。これらの耐熱合金は他の被削材に比べ、切削時に工具の損傷や摩耗が生じやすく工具寿命の低下や加工精度の低下が激しいため、工具の長寿命化が求められている。

耐熱合金であるチタン合金は、熱伝導率が低く、工具材との親和性が高いため、切削時に工具表面に凝着物が生じやすい。この凝着物が大きく成長すると構成刃先となり、工具欠損や仕上げ面の悪化の原因となるが、凝着物が薄い層状に生じれば構成凝着層となり、工具すくい面摩耗に対する保護効果があるとされている¹⁾。先行研究において、ステンレス鋼²⁾や焼き入れ鋼³⁾では構成凝着層の工具保護作用が確認されているが、チタン合金についての詳細な報告は少ない。

そこで本研究では、構成凝着層に着目し、チタン合金においても工具保護効果が生じるのか、仕上げ面粗さおよび凝着の状態などの観点から調査した。

2. 被削材及び実験方法

被削材として直径 45 mm のチタン合金 Ti-6Al-4V の丸棒を用いた。切削実験は複合加工機(オークマ製, MULTUS B200)を用いて、表 1 に示す切削条件で乾式による切削加工を行った。なお、凝着物の成長挙動を調べるため、切削速度および切削時間を変化させて比較した。仕上げ面の粗さを表面粗さ計(ミツトヨ製, SU-201)で測定し、工具表面に凝着した凝着物の様子および凝着物の高さを共焦点レーザー顕微鏡(OLYMPUS 製, OLS-4100)で観察した。構成凝着層が工具保護にもたらす有用性を確認するため、共焦点レーザー顕微鏡で逃げ面摩耗幅 VB を測定し、切削時間と工具逃げ面摩耗の進展との関係を調べた。なお、観察は切削時間 60s 毎に切削を中断し行った。

3. 実験結果及び考察

3.1. 工具表面上の凝着物の成長挙動

図 1 に切削時間に伴う工具すくい面に生じた凝着物の高さの変化を示す。これらの値は工具未使用面の位置を 0 として凝着部の高さを表す。同図より、切削速度 V120m/min 以外、工具表面に高さ 7 μ m 程度の凝着物が生じていることがわかる。なお、切削時間 60s 以後、切削速度 V10m/min, V40m/min における凝着物の高さはほぼ一定値になり、切削速度 V80m/min における凝着物の高さは多少減少していることから、凝着物は脱落することなく工具表面に安定的に存在していると考えられる。なお、構成刃先は高さが数百 μ m になる⁴⁾が、それに比べて観察された凝着物が非常に低いことから、この凝着物は構成刃先ではなく、構成凝着層¹⁾と分類できる。

図 2 に切削速度 V10m/min, 切削時間 t 60s における工具すくい面の様子を示す。同図より、凝着物は層状に工具表面を覆っていることから、工具の保護作用があると考えられる。工具の切れ刃近傍での形状を確認するため、凝着物の断面プロファイル

を測定した。図 3 に切削速度 V10m/min, V40m/min, V80m/min, 切削時間 t 60s における工具すくい面に生じた凝着物の断面プロファイルを示す。同図より、各切削速度における、凝着物が水滴状に工具表面に存在し、工具切れ刃近傍で大きく成長していないことがわかる。このことより、凝着物が仕上げ面への過切削は小さいと考えられる。

図 4 に切削時間に伴う工具逃げ面上に生じた凝着物の高さの変化を示す。同図より、切削時間 60s 以後、各切削速度における工具逃げ面上の凝着物の高さは同程度であること(約 3 μ m)がわかる。

Table 1 Cutting conditions

Tool material	Cemented carbide K10 TNGN160408
Rake angle a (deg)	-5
Clearance angle b (deg)	5
Cutting speed V (m/min)	10,40,80,120
Cutting time t (s)	60,120,180
Feed f (mm/rev)	0.05
Depth of cut ap (mm)	1.0
Lubrication	Dry

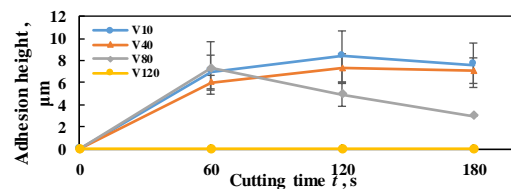


Fig.1 Variation of the high of adhesion on the tool rake face with cutting time under different cutting speed

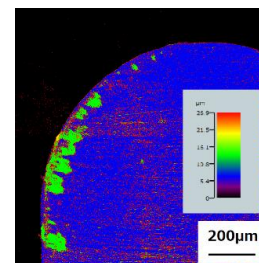


Fig.2 3D geometry of the tool rake face after cutting speed 10m/min, cutting time 60s

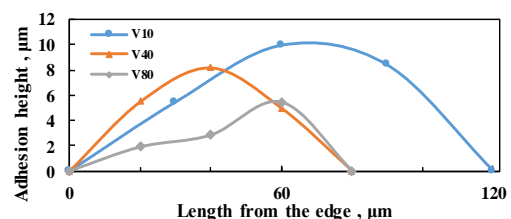


Fig.3 Change of adhesion profile of adhesion on the rake face at cutting speed V10, 40, 80 m/min after cutting 60s

このことから、逃げ面の凝着物が仕上げ面粗さに及ぼす影響は同じと考えられる。図5に切削速度 V120m/min, 切削時間 t60s における逃げ面の様相を示す。切削速度 V80m/min 以下では凝着物が刃先表面を覆うように付着していたが、切削速度 V120m/min では凝着がまばらで付着していない部分も見られた。

3.2. 仕上げ面への影響

図6に切削時間に伴う仕上げ面粗さの変化を示す。同図より、すべての切削条件において仕上げ面の算術平均粗さは Ra0.5 程度であることがわかる。この値は精密仕上げである Ra1.6⁵⁾よりも小さいことから、工具表面に生じる凝物は仕上げ面粗さへ与える影響が小さいと言える。

3.3. 工具摩耗への保護効果

図7に切削時間に伴う工具すくい面のクレータ摩耗の深さ KT を示す。ここで、工具未使用面の位置を基準面として摩耗部の深さを負の値として表す。同図より、切削速度 V10m/min, V40m/min ではクレータ摩耗が生じていないことがわかる。これらは工具すくい面に生じた構成凝着層がクレータ摩耗の進行を抑制したと考えられる。切削速度 V80m/min においては切削時間 60s 以後クレータ摩耗が生じ、その後、切削時間に伴ってほぼ変化しないことがわかる。一方、切削速度 V120m/min における切削開始直後、クレータ摩耗がすぐに生じていることがわかる。チタン合金切削においては切削速度の増大に伴い切削温度が急に上昇していき、切削速度 V80m/min で 1200K を越える程になることが報告されている。したがって、切削速度 V80m/min 以上におけるクレータ摩耗は高温により拡散摩耗が激しく生じたことによるものと考えられる。しかしながら、一般的にクレータ摩耗は切削時間に対し比例的に進行するが、切削速度 V80m/min において切削時間 120s, 180s 間でクレータ摩耗があまり増大していない。これは、図1に示したように切削速度 V80m/min における構成凝着層がクレータ摩耗面上に生じ、クレータ摩耗の進行が抑制されたためだと考えられる。

図8に切削時間に伴う工具逃げ面摩耗幅 VB の変化を示す。同図より、切削速度 V10~V80m/min においてはゆるやかな増大傾向を示し、切削速度 V120m/min では他の切削速度に比べ、大きく増大していることがわかる。図4に示したように、逃げ面凝着物の高さはほぼ変化しないことから、これは、切削速度 V10~80m/min で工具すくい面上の構成凝着層が逃げ面摩耗に対し作用しているものと考えられる。

4. 結言

1. すくい面において、切削速度 V10~80m/min で構成凝着層が生じた。逃げ面において、V10~80m/min で工具を覆う凝着物が生じた。
2. 構成凝着層による仕上げ面への影響は少ない。
3. すくい面で V10~80m/min において構成凝着層による工具摩耗の抑制効果が見られた。逃げ面では V10~80m/min において工具保護効果が見込める。

参考文献

- [1] Koichi HOSHI, Tetsutaro HOSHI: On the Metal Cutting Mechanism with the Built-up Edge, *Memoirs of the Faculty of Engineering*, **12**, 3(1969)241 [2] 松田貴仁: SUS304 鋼の切削加工における構成刃先状凝着を用いた工具刃先保護, 中央大学修士論文, (2015) [3] 宋小奇, 高橋幸男, 何偉銘, 井原透: 構成凝着層を利用した焼入れ鋼の切削加工技術に関する研究, *精密工学会誌*, **82**, 9 (2016) 814 [4] J. Kümme, J. Gibeimer, et al.: Detailed analysis of microstructure of intentionally formed built-up edges for improving wear behaviour in dry metal cutting process of steel, *Wear*, **311** (2014) 21. [5] JIS B 0601:2013 [6] C.Velga,

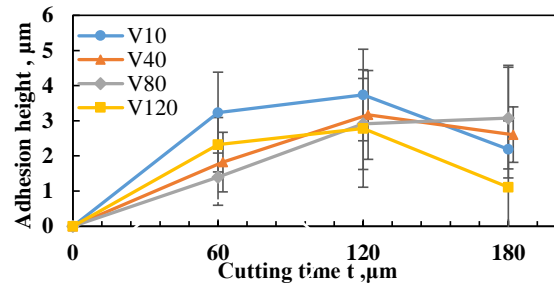


Fig.4 Variation of the high of adhesion on the flank face with cutting time under different cutting speed

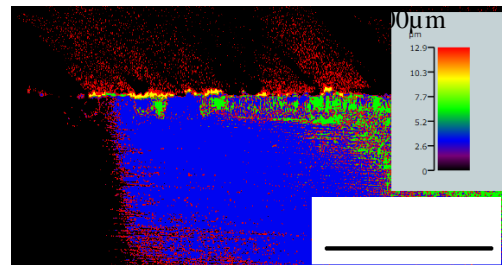


Fig.5 3D geometry of the tool flank face after cutting speed 120m/min, cutting time 60s

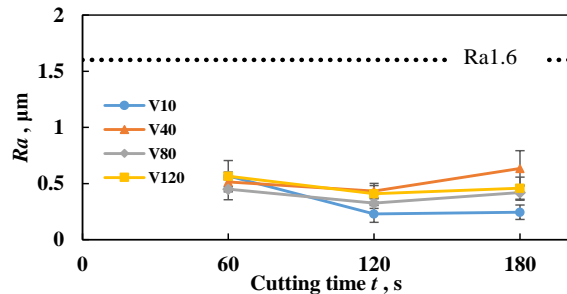


Fig.6 Variation of finished surface Ra with cutting time

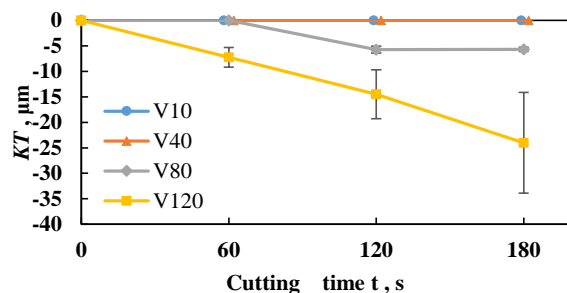


Fig.7 Variation of the crater depth KT on the tool rake face with the cutting time t

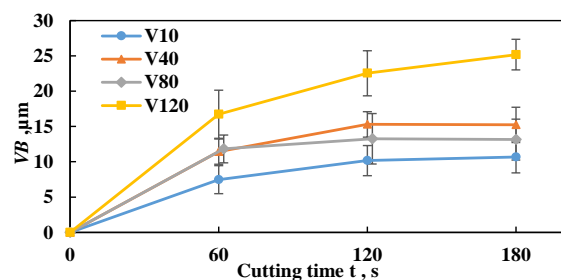


Fig.8 Variation of the flank wear width VB on the tool flank face

J.P.Davim, A.J.R. Loureiro : Properties and applications of titanium alloys: a brief review, *Rev.Adv.Mater.Sci.*, **32**(2012)133-148