

インコネル 600 の構成凝着層を用いた境界摩耗からの保護

中央大学 ○齋藤 拓, 高橋幸男, 宋 小奇, ◎井原 透

要 旨

一般に耐熱合金の切削時には境界摩耗が顕著に見られることが知られ, これは工具寿命に影響すると言われている. そこで本研究では耐熱合金の一例としてインコネル 600 を用い, 事前に付着させた工具表面の構成凝着層を用いた境界摩耗からの保護を狙った. 結果, 構成凝着層の境界摩耗からの保護作用を確認し, 同時に背分力が低下する現象が確認された.

1. 背景・目的

近年, 耐熱が要求される製品の耐久性といった付加価値を高めるために多くの耐熱合金が開発されている. これら耐熱合金は難削材として知られ, 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, 摩耗の一種である境界摩耗が顕著となり, 工具寿命に悪影響を及ぼすことが知られている¹⁾.

耐熱合金のひとつであるインコネルは被削性の悪さに加え, Ni 基合金であるという特性から超硬工具との親和性の高さに起因し凝着が生じやすい. 一般に, 工具摩耗の要因のひとつとしては, 凝着物によるものとされ, 凝着物が工具表面から持ち去られる際に工具材の一部を脱落させることによって生じるとされている. しかしながら, 凝着物が持ち去られにくい条件下であれば工具表面の保護膜として有効に活用できるものと考えられる. 本研究で着目する工具の保護作用として機能する凝着物は, 工具摩耗に悪影響を及ぼすほどに成長した構成刃先ではなく, 工具表面に継続的に薄くかつ安定的に凝着する構成凝着層(BUL)と呼ばれるもので, 工具を保護する効果があることが報告されている²⁾.

そこで, 本研究では前述のインコネルを被削材とし, 工具逃げ面に付着させた構成凝着層を有効利用することで工具の保護を見込み, 工具摩耗を抑制する手法を提案する. ここでいう手法とは, 予め本切削よりも深い切込み量で切削することで切れ刃全域にBULを生じさせる. その後, 同一工具を用いて切込み量半分とした本切削に供することで, BULによる境界摩耗の保護を目的としたものである. この工具摩耗の抑制効果については境界摩耗幅と切削力の両面から評価した.

2. 被削材及び実験方法

被削材は直径 50mm を有するインコネル 600 の丸棒である. 切削加工としては, 送り量 0.1mm/rev, 切込み量 0.25mm とし, 切削速度は推奨切削条件³⁾付近を選定し, 複合加工機(オークマ製, MULTUSB200)を用いて外周切削を行った. 切削工具は市販のスローアウェイチップ SNMN120408 で P20 相当の超硬工具である. なお, 切削条件をまとめて表 1 に示す. 切削力は切削動力計(Kistler 製, 9129AA)を用いて計測し, 切削後の工具表面に認められた BUL 及び摩耗の観察と測定には SEM(FEI 製, Quanta250)にて行った.

事前切削実験としては, BUL による保護切削実験に供する工具を選定するため, 表 1 に示した切削条件下で最も大きい横逃げ面境界摩耗を示した切削速度とした.

BUL による保護切削実験としては, 事前切削実験で選定された切削速度, 送り量のもと, 前切削(First cut)として切込み量 0.5mm にて切削し工具表面に BUL を付着させた. その後, 同一工具の BUL が付着した箇所にて切込み量を 0.25mm にした本切削(Second cut)を行った. 最後に, BUL を用いた保護切削実験における工具摩耗の抑制効果については, 表 2 に示す 4 つの前切削と本切削を組み合わせた条件にて切削し評価をした. すなわち, 前切削から本切削へと変化させた比較実験としては, 比較実験①が切込み量 0.5mm から 0.25mm, 比較実験②が新品工具から切込み量 0.25mm,

比較実験③が切込み量 0.25mm から切込み量 0.25mm, 比較実験④が新品工具から切込み量 0.5mm である.

Table1 Cutting condition

Work material	Inconel600
Tool material	Cemented carbide P20
Tool dimension	SNMN120408
Rake angle [°]	-8.5
Clearance angle [°]	8.5
Nose radius[mm]	0.8
Cutting speed[mm/min]	40, 60, 70, 100, 150
Depth of cut[mm]	0.25, 0.5
Cutting feed[mm/rev]	0.1
Cutting time[s]	60
Cutting fluid	DRY

Table2 Experiment number and Depth of cut

Exp. No.	First cut (Depth of cut [mm])	Second cut (Depth of cut [mm])
①	0.5	0.25
②	-	0.25
③	0.25	0.25
④	-	0.5

3. 実験結果及び考察

3.1. 境界摩耗に及ぼす切削速度の影響

ここでは, 比較実験を行う前に新品工具を用いた事前切削実験結果について述べる.

逃げ面に付着した凝着物としては, 切削速度 60m/min から 150m/min にかけて BUL が認められた. なお, 40m/min においては凝着物がまばらであったため, 工具保護効果を見込むほどの期待はできないと判断した. 図 1 は切削速度 100m/min における凝着物と境界摩耗の様相で, 図 2 に示した各切削速度における境界摩耗幅の傾向と合わせ, 切削条件中最も大きい横逃げ面境界摩耗であることがわかった. なお, いずれの場合も, 前逃げ面より横逃げ面における境界摩耗のほうが大きかった. これらの結果から, BUL を用いた保護切削実験としては横逃げ面境界摩耗に着目し, 切込み量を変化させた比較実験においては大きい境界摩耗が確認された切削速度 100m/min で実験を行うこととした.

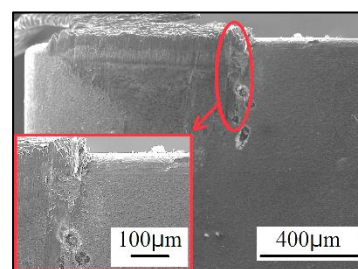


Fig.1 SEM image of tool flank face at V100m/min, f0.1mm/rev, tu0.25mm and cutting time 60s

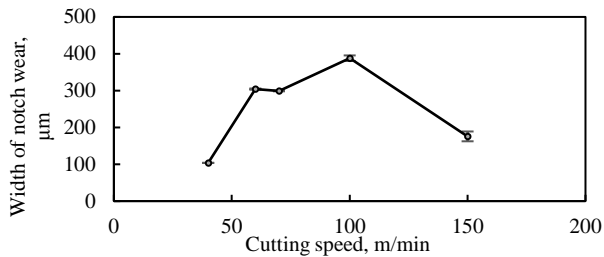


Fig.2 Variation of width of notch wear under different cutting speed

3.2. 構成凝着層が境界摩耗に及ぼす影響

3.2.1. 切込み量を変化させた比較実験

表 2 に示した比較実験条件のもとで得られた、本切削における切削力の比較を図 3 に、同切削の平均値を表 3 に示す。

比較実験①では背分力が主分力をやや下回るほど低下し、主分力と送り分力においては比較実験②、③と近い値となった。比較実験②では主分力よりも背分力が高く、一般的なアプローチ角に従う傾向を示した。比較実験③では切削合力においては比較実験①、②よりも高く、背分力においては比較実験①より 100N 以上増えているのがわかった。結果的に比較実験①に比べ切削合力は 100N 近く増えていた。本切削条件が切込み量 0.5mm であった比較実験④では全切削力ともに比較実験中で最も高く、このときの BUL は切込み量 0.25mm の切削時よりも大きくなっているのが認められた。

これらの結果から、前切削で深い切込みを行った比較実験①において切削合力が最も低い値を示したことがわかった。特に背分力が低下するという現象が認められ、この背分力低下が切削合力の低下の要因であったと考えられる。また、切込み量 0.5mm での切削条件下では、切込み量 0.25mm に比べ、工具逃げ面上に広く安定した様相で BUL が付着していた。この凝着した BUL は、本切削へ移行した切込み量 0.25mm 切削時においても、工具表面から除去され難い工具保護膜として機能するだけでなく、逃げ面摩耗が抑制され、背分力が低下することとなる。

3.2.2. BUL による工具保護の評価

本切削条件の切込み量 0.25mm/rev における摩耗抑制効果について評価した。図 4 に、比較実験①、②及び③における横逃げ面境界部に認められた溝状の長さを示す。図 4 より、比較実験②及び③では、工具母材に対して溝状の摩耗痕が観察され、その長さは切削時間に伴うものであった。また、比較実験①においては、図 5 中の赤丸で示すように、境界部に BUL が付着しており、この BUL が擦過されたような溝が認められた。この溝を詳細に観察すると、工具母材まで到達するような境界摩耗痕ではなく、BUL のみに留まっていることが認められた。図 4 に BUL に認められた溝長さを合わせて示す。

BUL による工具保護としては、比較実験③と比較実験①との溝長さから、前切削の切込み量 0.5mm で付与された BUL によって、本切削の切込み量 0.25mm における摩耗の進展が抑制され、境界摩耗に対して抑制効果のあることが明らかとなった。

4. 結言

逃げ面の構成凝着層による工具摩耗抑制効果について、インコネル 600 を用いて旋削加工した結果、次の結論を得た。

- (1) 切込み量 0.25mm、送り速度 0.1mm/rev で条件を固定した場合、切削速度 100m/min において大きい境界摩耗が観察された。また、切削速度 60m/min から 150m/min にかけて構成凝着層が認められた。
- (2) 事前に切込み量 0.5mm で切削を行い、切れ刃に構成凝着層

を付着させ、浅い切込み量 0.25mm で切削した場合は、背分力が事前の切り込みを行わなかった場合に比べ低下することがわかった。

- (3) また、この様な構成凝着層には工具の境界摩耗に対して保護作用のあることがわかった。

本研究で示した切削手法は、たとえ構成凝着層が切削によって工具表面から除去されても改めて深い切削を行うことで、構成凝着層を再び工具表面に凝着させれば再利用でき、条件次第では同種の被削材種が工具表面上に残る限り工具寿命を伸ばすことができると考えられる。

参考文献

- 1)若林ら：超硬工具の境界摩耗に関する研究，精密機械，32，8 (1966) 7. 2)宋ら：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，82，9 (2016) 814. 3)狩野：難削材・新素材の切削加工ハンドブック，森北出版，(2011).

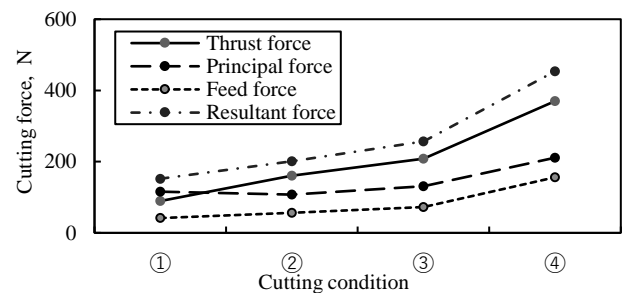


Fig.3 Variation of cutting force under different cutting experiment

Table3 Average cutting force under different cutting experiment

	Thrust force [N]	Principal force [N]	Feed force [N]	Resultant force [N]
①	89.39	115.72	41.56	152.02
②	160.30	107.47	56.06	200.97
③	208.65	131.11	72.64	256.90
④	370.02	211.06	156.00	453.65

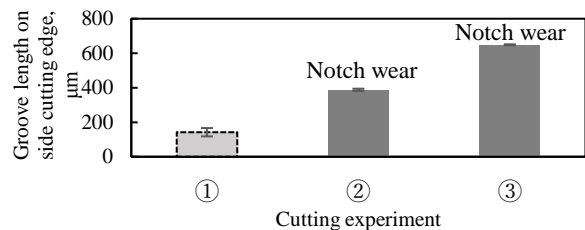


Fig.4 Variation of width of notch wear under different cutting experiment

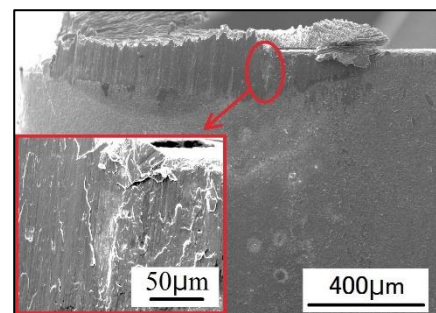


Fig.5 SEM image of tool flank face for Exp. ①