

平滑切削加工の改善に関する切れ刃傾斜角自在工具の開発

—前掬い角の工具寿命効果と横切れ刃角の仕上げ面粗さへの影響—

生産技術部
松隈 博

大型産業機械等の回転軸は破壊強度や耐摩耗性を向上させるために、部分焼き入れした特殊材料のものが多く用いられている。中でもSKD11は組織がオーステナイトで非常に靱性が高く、かつ耐摩耗性が大きいことから、切削加工がはなはだ困難である。今回は切れ刃の傾斜角を自在に変えることの出来る試作工具を用いて平滑旋削加工を行い、前掬い角 -7° 及び -17° との工具寿命の比較試験を行った。その結果、前掬い角を -17° と大きく設定することで焼き入れ材に対する工具摩耗の進行を抑制する効果が分かった。また横切れ刃角が大きくなると粗さは向上する。

1. はじめに

産業機械等に使用されるSKD11は主に耐摩耗性を必要とし、しかも部分焼き入れされ大物部材に使用されてきた。そのため、これらの加工は切削が主流であるが、切削中の工具摩耗のトラブルや加工精度の低下等現場での切削技術の改善策が求められている。本稿ではSKD11の加工条件として、今回試作した工具ホルダーを用いた前掬い角の設定による工具寿命の影響及び横切れ刃角の仕上げ面粗さ、切屑処理形態について報告する。

2. 実験方法

実験は大隈鉄工所(株)製LS800無段変速付き汎用旋盤を使用し外周長手切削とした。切削速度範囲 $V=50\sim 120\text{m/min}$ 、送り $f=0.1\sim 0.2\text{mm/rev}$ 、切り込み $d=0.2\text{mm}$ で一定時間毎に工具の刃先摩耗の観察を行った。工具寿命判定基準は逃げ面摩耗幅 VB を 0.2mm とし、(株)ネオス製ファインカット712Mの20倍希釈液を切削油剤として使用した。切削油流量は3リットル/minとした。逃げ面工具摩耗はトプコン社製TUM-220EH型工具顕微鏡を使用し、掬い面上のクレータ摩耗の測定にはオリンパス光学工業(株)製OLS1100型レーザ顕微鏡を使用した。仕上げ面粗さの測定には(株)東京精密製サーフコ1790A-12型表面粗さ輪郭形状測器を使用した。

2.1 供試材

使用した被削材はSKD11 (HRC57)の焼き入れ材の丸棒を対象とした。寸法は $\phi 120\text{mm}\times 90\text{mm}$ である。

2.2 供試工具

実験には図1に示すように今回開発した工具ホルダーを用いた。工具材種はSKD11 (HRC57)の焼き入れの切削に適すと考えられる住友電気製CBN300で

TNMA332型の三角チップのネガティブタイプを使用した。また今回の試作工具ホルダーは前掬い角、横切れ刃角、横掬い角を変えることが可能な自在性をもつことにより、高硬度を有する難加工材料から軟加工材まで幅広く切削が可能である。

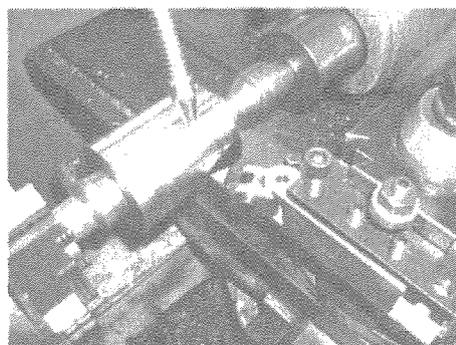


図1 試作工具による実験の概略図

3. 実験結果及び考察

3.1 工具寿命に及ぼす前掬い角の影響

図2～図3はCBN300ネガティブタイプのチップを使用して、切削速度 100m/min 及び 120m/min で前掬い角 α を -7° 及び -17° に変化させたときの工具摩耗の進行を求めたものである。このときの逃げ面摩耗幅 0.2mm を工具寿命の判定基準として追跡した。掬い角 -7° においては切削速度 100m/min で30min間切削すると工具摩耗幅は 0.14mm となり、 120m/min で25min間切削すると 0.133mm となっている。一方掬い角を極端にした -17° では切削速度 100m/min 、切削時間32min後の工具摩耗幅 VB は 0.087mm で、 120m/min で26min切削した時点の摩耗幅は 0.099mm となり、いずれの場合も前者の角度条件よりも工具摩耗の抑制の効果が顕著に現われていることが分かった。

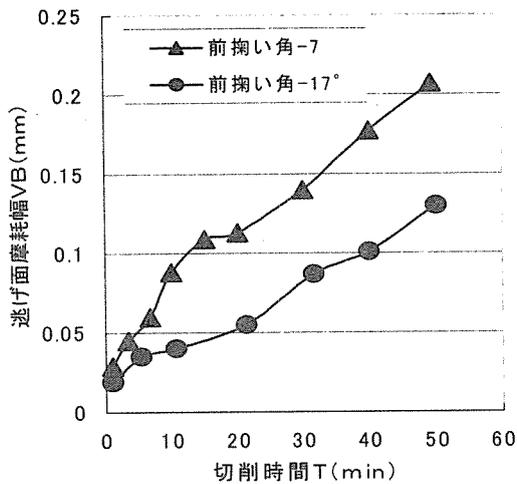


図2 SKD11 (HRC57) 切削における工具摩耗曲線
(V=100m/min, d=0.2mm, f=0.1mm/rev)

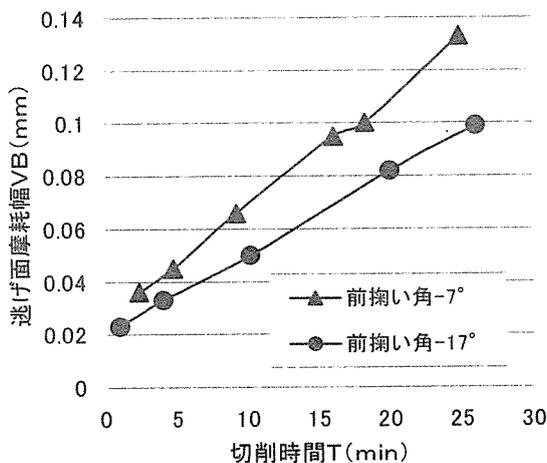


図3 SKD11 (HRC57) 切削における工具摩耗曲線
(V=120m/min, d=0.2mm, f=0.1mm/rev)

図4～図5は切削したときの工具摩耗状況を示す。いずれの角度においても、逃げ面側では切れ刃稜から逃げ面側にかけて工具摩耗が進行している。摩耗形態としては微細チップのない正常摩耗形態を表しているが多くの条痕が観察される。また逃げ面の下方には被削材の一部が凝着しているのが観察される。このことは工具と被削材の鉄との拡散性に影響があるものと考えられる。掬い面での摩耗はいずれの切削速度領域においても切削直後からすぐに切れ刃稜より掬い面にかけてクレータ摩耗が生じ、切削時間の経過に従って、切れ刃ランド部の位置を中心に掬い面上にかけ、クレータ摩耗の進行領域¹⁾が明確に観察される。このことは切屑と工具接触面

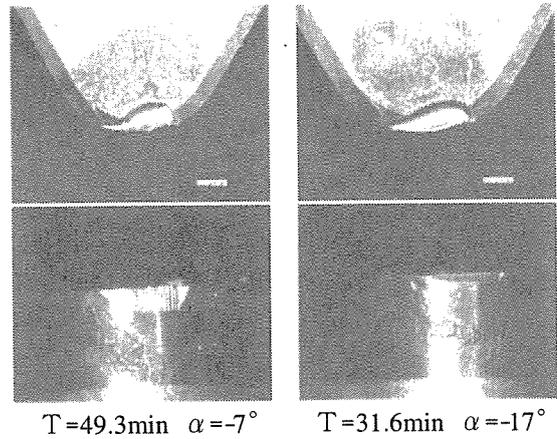


図4 SKD11 (HRC57) 切削における工具摩耗形態
(V=100m/min, d=0.2mm, f=0.1mm/rev)

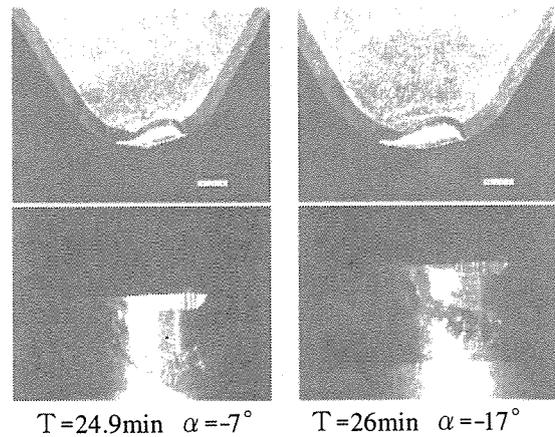


図5 SKD11 (HRC57) 切削における工具摩耗形態
(V=120m/min, d=0.2mm, f=0.1mm/rev)

長さが短いという切削機構上の特色をもつもので、図6および図7に示すように切り屑の擦過痕によるかなり深い(約60 μ m~90 μ m)クレータが顕著に発生しているが、いずれの切れ刃も欠損のないシャープエッジの状態を保たれていることが分かる。掬い面上には逃げ面と同様に溶着物がかなり付着しているのが観察される。

また、同一条件で切削速度140m/minとしたときの摩耗形態であるが、切削時間約11minまでは正常摩耗の形で切削していたが、15minにおいて異常欠損により切れ刃の欠損を生じ切削不可能となった。以上の摩耗形態から、今回使用のCBN300は切削速120m/minの領域までにおいてはチップの発生もなく、刃先の耐久性もあり適正工具材種の一つと言える。

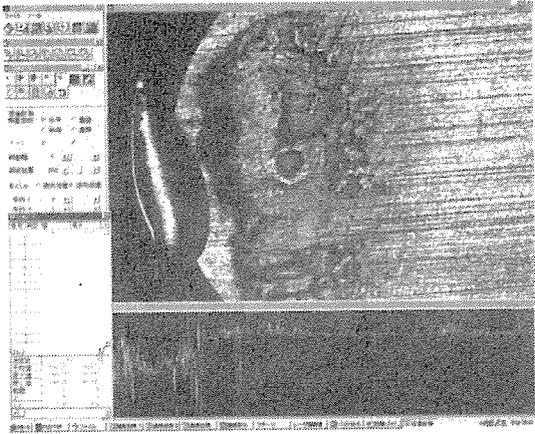


図6 クレータ摩耗のプロファイル
($V=100\text{m/min}$, $d=0.2\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/rev}$
横切れ刃角 $E=15$, 前揃い角 $\alpha=-17^\circ$)

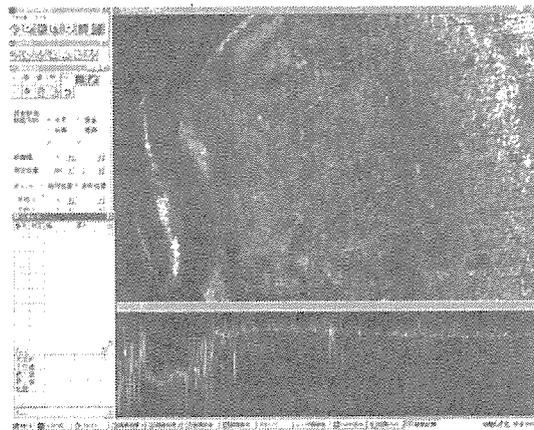


図7 クレータ摩耗のプロファイル
($V=120\text{m/min}$, $d=0.2\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/rev}$
横切れ刃角 $E=15$, 前揃い角 $\alpha=-17^\circ$)

3.2 仕上げ面粗さに及ぼす横切れ刃角の影響

図8は切削速度 50m/min 、及び 100m/min において、横切れ刃角 E を $0^\circ \sim 60^\circ$ と変化させた場合の仕上げ面粗さの変化を求めたものである。いずれの切削速度についても横切れ刃角が大きくなるに従い仕上げ面粗さの変化の傾向は類似した曲線を示し、削速度 50m/min の方が若干大きな実測値を示す。図9及び図10は加工面の切削状況を示したものである。切削速度 100m/min においては横切れ刃の変化に対して、比較的ビブリの無い加工面を形成しているのに対し、切削速度 50m/min においては円周方向に振動切削に類似したような規則正しいビブリ模様が生じているのが観察された。しかも横切れ刃角が大きくなるほど鮮明になっている。

図11は切削速度 100m/min 、切り込み 0.2mm 、送り

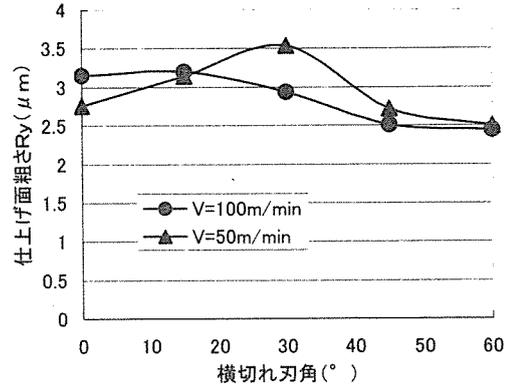
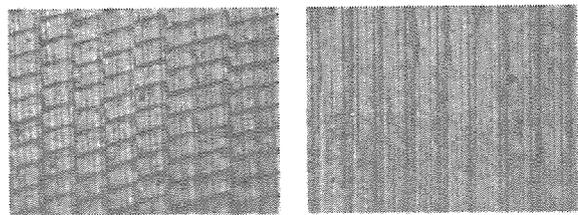
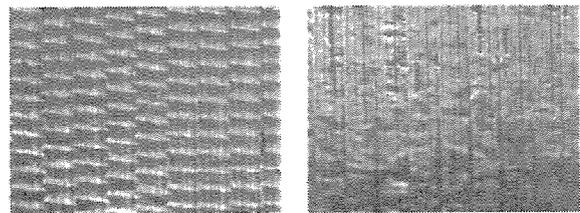


図8 横切れ刃角と加工面粗さ
($d=0.2\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/rev}$, $\alpha=-17^\circ$)



V=50m/min V=100m/min

図9 横切れ刃角と加工面性状
($d=0.2\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/rev}$, $E=0$, $\alpha=-17^\circ$)



V=50m/min V=100m/min

図10 横切れ刃角と加工面性状
($d=0.2\text{mm}$, $f=0.1\text{mm/rev}$, $E=60$, $\alpha=-17^\circ$)

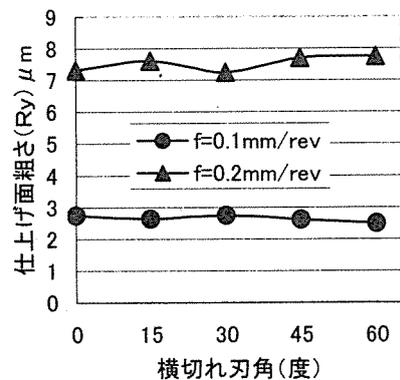


図11 横切れ刃角と加工面粗さ
($V=100\text{m/min}$, $d=0.2\text{mm}$, $E=60$, $\alpha=-17^\circ$)

量を0.1mm/rev, 0.2mm/revとして横切れ刃角を変化させたときの、仕上げ面粗さの変化を求めたものである。送り量を0.2mm/revにして粗さの相違を求めると、図11に示すように送り量が2倍になると仕上げ面粗さも急激に増大しており、粗さに与える影響が大きいことが分かる。横切れ刃角の粗さに与える影響は若干の相違は見られるものの大きな差は無かった。また、SKD11の加工面を送り方向に測定した仕上げ面粗さの波形のプロファイルを観察すると、いずれの送り条件においても仕上げ面粗さ波形には、送り量に等しいピッチの山が明確に現れているのが観察される今回の送り量0.1mm/rev及び0.2mm/revに対する理論仕上げ面粗さは、送り量0.1mm/revでは最大粗さ R_y は $1.5\mu\text{m}$ となり、送り量0.2mm/revでは R_y は $6.2\mu\text{m}$ となるが、試験結果としては理論粗さには到達していない。このことは、仕上げ面粗さの理論式を規定する確定因子の他に、切削速度、工具摩耗、切り屑の排出角等の不確定因子による弊害がバイアス値として残っているものと推察される。

3.3 切屑観察

図12(a)~(e)は焼き入れ材を切削速度100m/min, 切り込みを0.2mmとして横切れ刃角及び送り量を変化させたときの切屑形状を比較したものである。切屑形態としてはもつれ切屑、带状切屑、平面螺旋状切屑、斜め螺旋状切屑、縮れ切屑、粉状切屑等の形態で排出されている。切屑の処理性としては、送り量0.2mm/rev, 横切れ刃 $0^\circ \sim 15^\circ$ の範囲において比較的十分に微細に分断されており、切屑の処理効果が大きいことが分かった。このように切屑処理が良好に行われることにより、加工される製品の表面粗さや、寸法精度が向上することになる。また今回の切屑形状の特長として、剪断面は鋸歯状²⁾の切屑が観察されるが、このような切屑が生成される理由としては、焼き入れされた素材の熱伝導率が小さいことから切削により発生した切削熱が剪断域に集中して、断熱剪断が起こるためと推察される。

また、切屑が鋸歯状に生成されることにより、切削抵抗の変動が予測されるので、剛性の低い工作機械・刃物台及び切削工具等で切削加工すると、これらの要因により振動を誘発し、切れ刃部は正常摩耗の進行状態から突然異常損傷状態を起こし易くなる。

4. おわりに

開発した工具ホルダーを用いてSKD11の焼き入れ材を対象とした旋削加工実験を行った結果、以下のことが判明した。

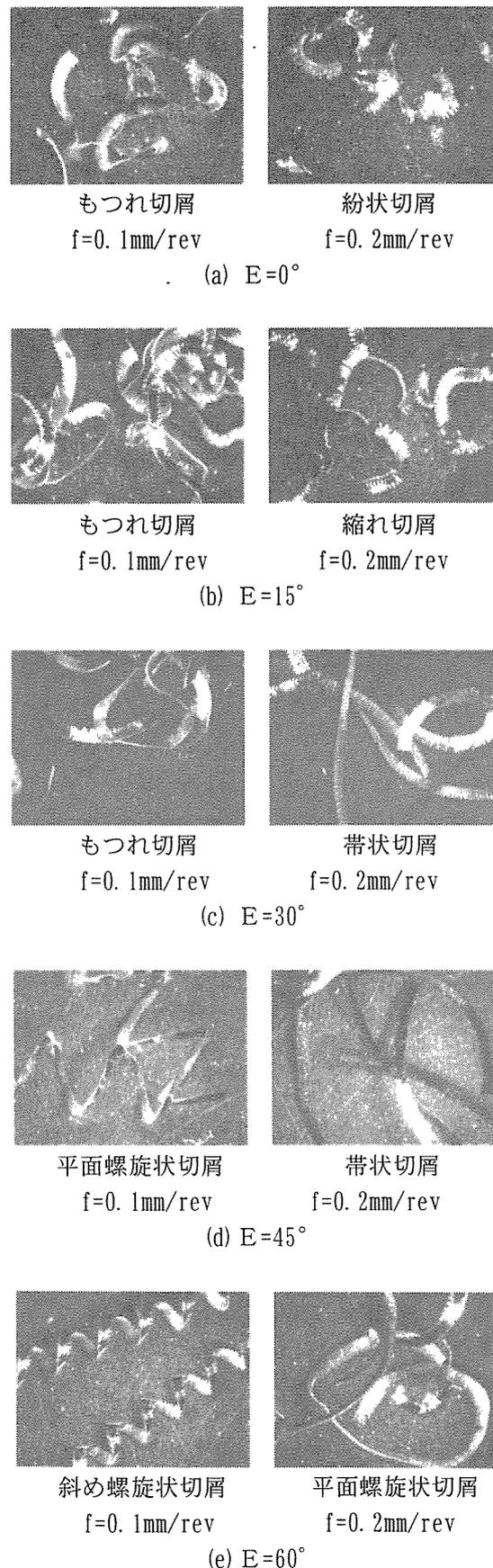


図12 SKD11 (HRC57) 切削における切屑形態 ($V=100\text{m/min}$, $d=0.2\text{mm}$, $\alpha=17^\circ$)

(1) 通常の掬い角の設定よりもさらにマイナス方向に大きく取ることにより工具寿命の延長効果が期待できる。

(2) 焼き入れされた材料は鋸歯状切り屑を生成するので、それが原因となって切削抵抗の変動が起こり易く、加工中にビビリ振動を生じやすい。

(3) 焼き入れされた高硬度の材料は工具一切り屑接触長さは一般の鋼材に比べ非常に小さく、切削力が切れ刃の近傍にかかるので、ビビリ振動が工具摩耗に大きな影響を与える。

(4) 横切れ刃角が大きくなると軸方向の仕上げ面粗さは若干良くなる傾向にあるがその反面、円周方向

にはビビリ模様が生じやすくなる。

(5) 切屑形態は帯状、平面螺旋状、斜め螺旋状、縮れ、紛状と多彩であるが、送り量0.2mm/rev、横切れ刃角 0° ~ 15° の範囲において切屑の処理効果が良い。

参考文献

- 1) 南良昭，島田尚一：2001年度精密工学会春季大会講演会論文集p. 243 (2001)
- 2) 狩野勝吉：難削材の加工技術（工業調査会）p. 191 (1989)