

炭素鋼切削における初期摩耗機構が工具逃げ面に及ぼす影響

中央大学 ○石川広希, 高橋幸男, 伊津井裕人, 宋 小奇, ◎井原 透

要 旨

切削加工における工具摩耗の一つである逃げ面摩耗は、仕上げ面精度に影響を及ぼすため数多くの研究がなされている。しかし初期摩耗とその摩耗機構に着目した研究は少なく、未だ不明な点が多い。そこで炭素鋼切削を実施し、逃げ面におけるアプレシブ摩耗と凝着機構について検討した結果、逃げ面の摩耗幅と凝着面積の変化から、初期摩耗量は逃げ面への凝着度合いと相関があることが明らかとなった。

1. 緒 言

切削加工とは主に金属などの材料の不要な部分を切削工具によって破壊し、目的の形状を得る除去加工の一種である¹⁾。切削工具によって被削材が除去されると同時に工具側も摩耗する。工具摩耗の代表的な一つとして逃げ面摩耗がある。逃げ面摩耗は加工対象である仕上げ面の精度に大きく関わるため、数多くの研究がなされている。しかしながら、切削初期における摩耗機構に着目した研究は少なく、高温、高圧、高ひずみ速度下での摩擦・摩耗現象かつ非定常状態であるがゆえに、未だ解明されていないことが多く、議論の余地が残されているものと考えられる。

そこで本研究では初期摩耗の特性を把握するため、初期摩耗期間と定常摩耗期間の摩耗機構の相違に着目し、これら摩耗機構が工具や被削材といった切削加工現象に及ぼす影響について検討した。

2. 被削材及び実験方法

被削材としては機械構造用炭素鋼 STKM13A (0.20% C) と S45C (0.46% C) で、直径 40mm、管厚 3.5mm を有する管材である。なお、引張強度及びビッカース硬さはそれぞれ、513N/mm²、712N/mm² 及び 189HV、239HV である。

本研究では被削材の摩耗特性について捉えやすくするため、単純な二次元切削様式とした。切削実験は、複合加工機（オークマ製、MULTUSB200）を用いて表 1 に示す切削条件のもと連続切削を行った。切削力は切削動力計（Kistler 製、9129AA）を用いて計測した。切削後に得られた工具に対しては、走査型電子顕微鏡（FEI 製、Quanta250）を用いて工具逃げ面摩耗幅 VB を、共焦点レーザ顕微鏡（OLYMPUS 製、OLS4100）を用いて凝着物を含んだ逃げ面表面粗さ、凝着物高さ、凝着面積及び仕上げ面粗さを測定した。なお、測定範囲は、切れ刃両端における材料流れの影響を取り除くため、切れ刃中央部のみとした。また、切削温度については切りくずのテンパカラーより推定した²⁾。

切削実験に際しては、切削開始時における工具当たりの条件を揃えるため³⁾、あらかじめ切削速度 100m/min、送り速度 0.01mm/rev、切削時間 20s にて端面出しを行った。

Table 1 Cutting condition

Cutting tool	Cemented carbide K10 (TPGN160304 TH10)
Rake angle α (°), Relief angle β (°)	5, 6
Cutting speed V_c (m/min)	100
Cutting length L (m)	1.7, 16, 50, 100, 166, 333
Feed rate f (mm/rev)	0.02
Depth of cut t (mm)	3.5
Lubrication	Dry

3. 実験結果及び考察

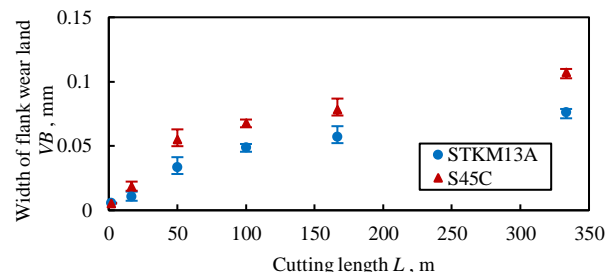
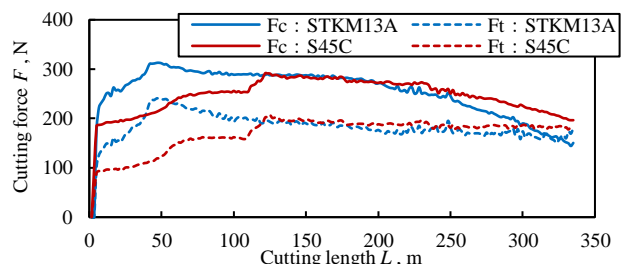
3.1 切削距離に伴う逃げ面摩耗の変化

図 1 に逃げ面摩耗幅 VB と切削距離 L の関係を示す。 VB の進展は、STKM13A においては切削開始から 100m まで急な増加傾向を示すが、100m 以降では漸増する傾向であった。S45C においては

切削開始から 50m は STKM13A と比較するとその傾向は急であるが、50m 以降では STKM13A と同様に漸増傾向を示していた。333m 時点においては VB は S45C の方が進展していた。図 2 に切削力 F と切削距離 L の関係を示す。STKM13A においては切削開始後 50m 近傍でいったん最大となるが、50~100m 近傍以降は安定し、250m 以降は漸減傾向にあった。S45C においては切削開始後からややステップ状に上昇し 120m 近傍で最大となるが、その後 STKM13A と同様な傾向を示した。なお、両被削材に認められた 250m 以降における切削力の低下は、後述する切削温度の影響による、被削材の軟化によるものと考えられた。

図 3 に切削後に得られた仕上げ面の算術平均高さ Sa_{fm} と切削距離 L の関係を示す。両被削材ともに切削開始から 100m まで変動は大きい、100m 以降においては安定的な傾向を示した。また、切削距離に伴う切りくずのテンパカラーの変化を観察した結果、STKM13A 及び S45C それぞれにおける推定切削温度は、16m で約 400°C 及び約 350°C、50m で約 450°C 及び約 400°C、100m 以降では両被削材とも約 600°C に到達していることがわかった。両被削材間の切削温度の傾向には相違が認められた。

以上より、切削距離に伴う逃げ面摩耗幅の変化、切削力の最大値点及び仕上げ面性状の結果より、STKM13A の場合 100m 近傍で、S45C の場合 50~120m 近傍で変曲点が認められたのは、摩耗機構に変化が生じたことによるものと考えられ³⁾、本実験では初期摩耗から定常摩耗へと変化するのは 100m 近傍であると推定した。さらに、両被削材間における切削距離に伴う温度上昇傾向の相違が VB の進展傾向の差として表れることから、摩耗機構の変化は温度に依存するものであると推測された。

Fig. 1 Relationship between width of flank wear land VB and cutting length L Fig. 2 Relationship between cutting force F and cutting length L

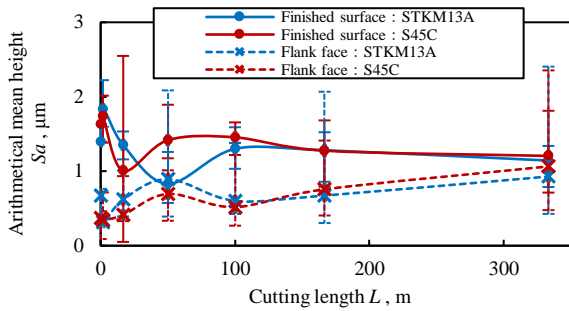


Fig. 3 Variation of Sa_{rn} of the finished surface and Sa_{rk} of the flank face with cutting length L

3.2 切削距離に伴う工具逃げ面摩耗幅領域の様相

前節において切削距離 100m 近傍で摩耗機構が変化することが推定された。摩耗機構が変化すれば工具逃げ面の様相にも影響を及ぼすと考えられる。そこで本節では切削距離に伴う工具逃げ面の様相の変化について検討した。

先に示した図 3 に工具の逃げ面摩耗幅における算術平均高さ Sa_{rk} を合わせて示すが、両被削材ともに切削開始から 50m にかけて増加し、100m でいったん小さくなるが、その後漸増傾向を示していた。また、図 4 に切削距離に伴う逃げ面摩耗幅領域内に認められた凝着物の高さ及び凝着面積の変化を示す。凝着物の高さは、両被削材とも 50m まで増加し、その後 100m でいったん減少するが、再び増加傾向に転じていた。一方、凝着面積においては凝着物高さの変化傾向とほぼ同様であったが、その変動幅は小さいのが特徴的であった。このような傾向を示した理由としては切削温度との関連で次のように考えられる。すなわち、STKM13A においては 16~50m で温度上昇に伴い凝着が始まるが、高さ $5\mu\text{m}$ ほどの凝着物が逃げ面に点在して生じるため、逃げ面の粗さが大きくなる。100m に至るとさらに切削温度が上昇することから、逃げ面に対して薄く引き伸ばされたような凝着物が一様に凝着し、結果、粗さが小さくなる。一方、S45C においては STKM13A に比べて温度上昇が緩やかであるがために凝着物の生成・成長速度が遅く、その結果、高さ $2\mu\text{m}$ ほどの比較的薄い凝着物となり逃げ面粗さが小さくなる。100m 以降では両被削材とも切削温度が高くなることにより、急激に凝着物が成長するため、高さ $5\mu\text{m}$ ほどの凝着物が逃げ面に一様に認められることとなる。その結果、粗さが増加したものと考えられる。

図 5 に工具逃げ面の代表的な様相を示す。両被削材ともに切削距離 100m 近傍までにおいては、同図 (a) に示すような擦過痕が観察された。このような擦過痕は工具母材から脱落した WC 等の硬質粒子によって、仕上げ面と工具面間でのアプレシブ作用によるものと考えられる⁴⁾。一方、切削距離 100m 時点においては同図 (b) に示すように、逃げ面が凝着物によって覆われており、この凝着物によってアプレシブ作用が減ぜられたものと考えられる。

3.3 アプレシブ作用と凝着物が初期摩耗量に及ぼす影響

前節までの結果から、初期摩耗期間と定常摩耗期間の相違は次のように考えられる。すなわち、切削初期では切削温度が低く凝着物の生成も少ないことから、硬質粒子によって工具母材がアプレシブ作用を受けることで摩耗が進展することとなる。その後の切削距離に伴う切削温度の上昇は、逃げ面に対して凝着しやすくなるが、その高さが数 μm ほどかつ一様でなければアプレシブ作用は残ることとなる。切削距離 100m 以降においては、さらに切削温度が上昇するため、逃げ面に一様な凝着物が生じやすくなり凝着物の脱落も生じにくくなることから⁵⁾、工具母材に対するアプレシブ作用が減ぜられ、代わって凝着摩耗が優先的になるもの

と考えられる⁶⁾。

ここで、逃げ面摩耗幅 VB と凝着面積の関係を図 6 に示す。切削距離 16m~100m までの近似直線の傾きは急であるが、STKM13A のほうが小さくなっている。一方、定常摩耗期間に移行する 100m 以降における近似直線の傾きは緩やかであった。このことは、前節までに得られた結果と合わせて考察すると、同図に示す近似直線の傾きが小さいほど、凝着物によるアプレシブ作用の抑制効果が働くことを意味しており、被削材の炭素量や機械的性質の違いによって⁷⁾、切削温度に伴う凝着しやすさが異なることで、初期摩耗量に影響を及ぼすことがわかった。

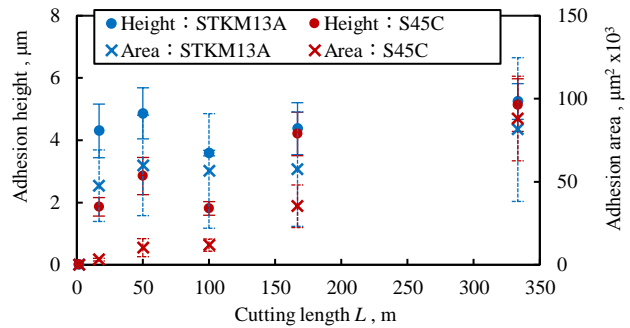
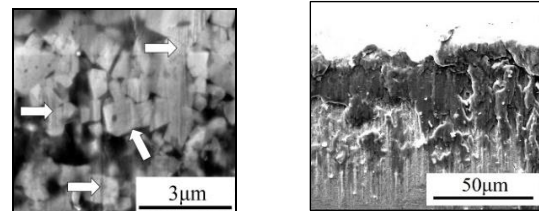


Fig. 4 Variation of the height and area of adhesion on the flank face with cutting length L



(a) Abrasion scratches after 16m (b) Adhesion after 100m
Fig. 5 Detailed SEM images on the flank face

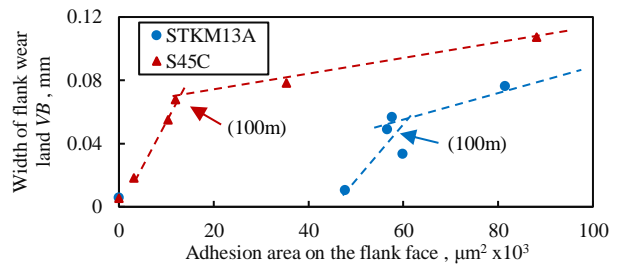


Fig. 6 Relationship between width of flank wear land VB and adhesion area on the flank face

4. 結言

- (1) 逃げ面摩耗幅の進展、切削力、仕上げ面性状の変化より、切削距離 100m 近傍において摩耗機構に変化が生じることがわかった。
- (2) 逃げ面への凝着によって、工具母材に対する硬質粒子のアプレシブ作用が抑制されるものと考えられた。
- (3) 初期摩耗量は凝着度合いと相関があることがわかった。

参考文献

- 1) 杉田ら:基礎切削加工学,共立出版,(1984)., 2) 藤村:テンパカラーより刃先温度を求める計算図表,精密機械,40,11(1973)., 3) 高橋ら:超硬工具の初期摩耗に及ぼす被削材表面性状の影響,2016 精密工学会春季大会,703., 4) 西村ら:逃げ面初期摩耗の予測に関する研究,2015 精密工学会秋季大会,357., 5) 菊池ら:低炭素鋼における損傷力学モデルを用いた構成刃先脱落機構,精密工学会誌,79,10(2013)., 6) 北川ら:切削工具寿命の解析的予測に関する研究(第4報):逃げ面摩耗特性の検討,精密工学会誌,53,9(1987)., 7) 荒木ら:鋼の被削性と冶金学的因子,鉄と鋼,57,13(1971).