

CBN切削工具による焼入された軸受鋼の精密切削

佐本 芳正*

Precision Machining of Hardened Bearing Steel Using Boron Nitride Cutting Tool

by Yoshimasa SAMOTO

[要 旨]

CBN切削工具を用い、ロックウェル硬さ63HRCの高炭素クロム軸受鋼SUJ2を精密切削した。その工具摩耗、及び加工物の加工精度について調べた。その結果、次のことが明らかになった。(1) CBN切削工具の逃げ面摩耗部には、切削方向に細長い溝状の条痕が数多く観察された。また、切削工具のチャンファ - の位置には、クレ - タ摩耗が大きく成長していた。それら摩耗部には、加工物SUJ2の成分であるFeとSiが凝着していた。(2) 今回の切削によって、加工物の焼入変形を削り取り、その焼入変形を修正できた。また、切削距離が増大して工具摩耗が進行するにつれて、加工物の表面粗さと真円度は悪化したり好転した。

1. はじめに

CBN (立方晶窒化ホウ素) 切削工具の使用による高硬度金属の切削をより一層実用化するには、研削加工と同等の表面品位を得る必要がある。

本研究では、焼入れ焼戻しされた高炭素クロム軸受鋼をCBN切削工具により精密切削し、その工具の摩耗形態と摩耗機構を調べた。また、切削距離の増加による加工物の加工精度の変化について、切削工具摩耗の観察結果に基づいて考察した。

2. 実験方法

切削実験に用いる加工物は、球状化焼なましされた熱間圧延丸鋼を、サ - メット切削工具により粗切削して 80mm × 150mmの寸法とした。加工物の材質は転がり軸受に使用される高炭素クロム軸受鋼SUJ2 (JIS G 4805) である。加工物を硬化させるために、バッチ式の雰囲気炉で加工物の表面光輝状態を保持できる油焼入れ焼戻しを、850 からの急冷と160 の再加熱により行なった。この熱処理によってロックウェル硬さ63 HRCに硬化した加工物を、切削速度127m/min.、切込み

0.1mm、送り0.2mm/rev.、乾式切削により、CBN切削工具と普通旋盤 (大隈鐵工所、LS450 × 550) を用いて切削した。今回の実験は、逃げ面摩耗が急速に増加する切削時間の初期と終期は対象とせず、主に逃げ面摩耗が比較的ゆるやかに増加する定常摩耗の期間において実施した。加工物の加工精度は表面粗さ測定機 (ミツトヨ、SV-424) と真円度測定機 (小坂研究所、EC-4) により、逃げ面摩耗幅は工場顕微鏡 (日本光学工業、20) により測定し、工具摩耗の観察と写真撮影は走査型電子顕微鏡 (エリオニクス、ESA-2000) により行なった。

3. 実験結果と考察

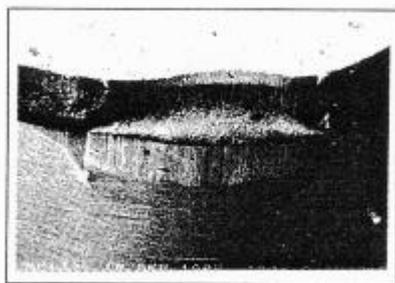
3.1 CBN切削工具の摩耗形態、摩耗機構

切削工具の摩耗形態は、切削工具逃げ面が加工物仕上げ面と激しく摩擦することによって生じる逃げ面摩耗、そして切削工具すくい面が切りくずと激しく摩擦することによって生じるすくい面摩耗とに大別される。

写真1に、切削工具摩耗のSEM写真を示す。CBN切削工具のスコ - アウェイチップは、切刃傾き角 -5° 、横すくい角 -5° 、前逃げ角 5° 、横逃げ角 5° 、前切れ刃角 5° 、横切れ刃角 -5° 、コ - ナ半径0.8mm、ネガラン

* 機械電子グループ

ド角度-25°，ネガランド幅0.15mmを持つ．切削の切込みが0.1mmであるため横切れ刃は切削に関与せず，前切れ刃のコ - ナのみで切削が行なわれた．



0.1mm
 切削距離 2.5 km
 逃げ面摩耗幅 0.127 mm

写真1 CBN切削工具摩耗のSEM写真

切削工具逃げ面が工作物仕上げ面と接触しないよう前逃げ角5°がつけられているが，工作物の弾性変形や切れ刃の丸みなどにより，実際は接触を起こし摩擦が生じる．切削中の切削工具逃げ面は，工作物仕上げ面と高温，高圧の状況下で摩擦するため，切削距離の増加とともに切削工具逃げ面の摩耗が進行した．逃げ面摩耗幅は，切削距離が3kmまでは比較的ゆるやかに増加した．切削距離が3kmから3.5kmにかけては，逃げ面摩耗幅が0.144mmから0.353mmへ大きく増加し，切削工具の寿命が近づいたと考えられる．SEM写真から，切削工具にチッピングや欠損が含まれない摩耗だけで構成される正常摩耗であることがわかる．逃げ面摩耗部には，大きな凝着物は認められず，切削方向に細長い溝状の条痕が数多く観察された．一方，すくい面摩耗は切削工具のチャンファ - の位置に発生し，噴火口に似たくぼみが見られクレ - タ摩耗が大きく成長していた．また，前切れ刃逃げ面の切削部と非切削部との境界に，大きな温度勾配，圧力勾配などが原因となって生じる細長い溝状の境界摩耗が観察された．横切れ刃逃げ面の切削部と非切削部との境界には，境界摩耗は観察されなかった．

今回の切削において，切りくずは長い流れ形切りくず（連続形切りくず）を生じ，切削距離が1.0kmの切りくずの厚さは138 μ mであった．切削実験における工具近辺の切りくずの色は，切削距離が1.5kmまでは赤くなかったが，切削距離が2.0kmを越えるところから少し暗赤色を呈してきた．切削距離が3.5kmでは，切りくずの色はさらに暗赤色を呈していた．切削距離が大きくなると，

工具近辺の切りくずの色が次第に暗赤色になり，切削温度が上昇したと考えられる．

図1に，X線回折装置によるCBN焼結体の成分分析結果を示す．CBN焼結体は硬質主成分であるCBN粒子とセラミックス系結合材であるTiN，TiB₂，AlN，Al₂O₃から構成されている．

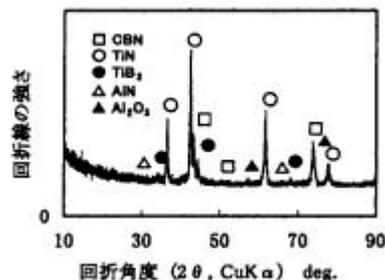


図1 CBN焼結体のX線回折パターン

切削工具逃げ面摩耗部をエネルギー - 分散型X線分析装置（EDX分析装置）により面分析して化学成分を調べた．面分析は，摩耗部の30 μ m平方を3箇所について行い，それらの平均値をとった．切削距離0.0kmつまり未使用のCBN切削工具においては，重量濃度でAlが13%，Tiが77%，Wが10%検出された．AlとTiはCBN粒子の結合材成分であり，Wは切削工具の製造工程で付着したものである．CBN焼結体は，超硬合金のペ - ス上にろう付により固定されており，そのCBN焼結体をダイヤモンド砥石で刃付研磨するとき，超硬合金の主成分であるWCがCBN焼結体に付着したものであると思われる．切削距離が1.0kmから3.0kmでは，CBN焼結体成分のTi，Al以外にFe，Siが切削工具の逃げ面摩耗部に検出された．その重量濃度は10%以下であった．加工物SUJ2の化学成分はFe，C，Si，Mn，P，S，Cr，Ni，Cu，Moと非金属介在物である．このことより，加工物SUJ2の成分であるFeとSiが切削工具の摩耗部に凝着していることがわかった．

切削工具クレ - タ摩耗部をEDX分析したところ，工具逃げ面摩耗部と同様に，Al，Ti，W，Fe，Siが検出された．加工物SUJ2の主成分であるFeが，切削距離2.0kmでは重量濃度55%と多量に凝着していた．

図2に，切削工具の摩耗機構の模式図を示す．切削工具の摩耗機構は，機械的要因に基づくもの，熱的要因に基づくものに分類される．その摩耗機構は，逃げ面摩耗とすくい面摩耗とは異なる．そこで，以上の実験結果を念頭に置き，ホーリング¹⁾と中山²⁾の文献を参考にして，切削工具の摩耗機構について次のように考えた．

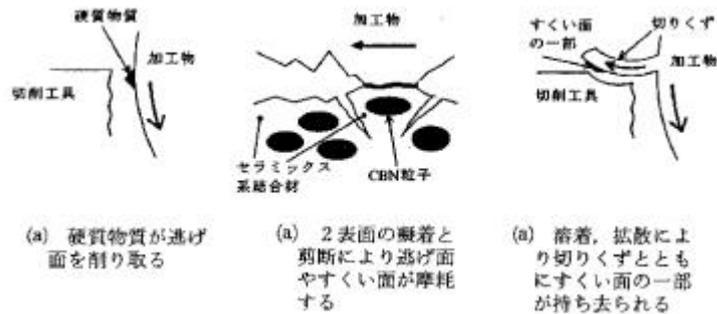


図2 切削工具の摩耗機構

逃げ面摩耗は熱の影響が比較的少なく、機械的な摩擦により少しずつ逃げ面が削り取られ、畑をすきで引っ掻いたような細長い溝状の条痕が切削方向に生じる。加工物に含まれる非金属介在物や析出物のなかには、硬質物質が存在する。これらは、 Al_2O_3 、 SiO_2 などの酸化物、 SiC 、 Fe_3C などの炭化物であり、一種の硬いセラミックスである。図2 (a)に示すように、それら加工中の硬質物質が加工物と切削工具の2表面間に存在して研磨剤的な役割を果たし、逃げ面を削り取ることによって細長い溝状の逃げ面摩耗が生じる。また図2 (b)に示すように、加工物仕上げ面と切削工具逃げ面の2表面が摩擦するとき、表面の突起は塑性的に変形し表面は互いに凝着する。次いで、その凝着物は剪断力によって脱落する。そして、再び新たな2表面が凝着と脱落を繰り返すことによって、逃げ面摩耗が進行する。

すくい面摩耗は機械的要因に基づくものよりも、溶着や拡散といった熱的要因に基づいて生じる。切削工具のすくい面は切削工具刃部のなかで最も切削温度が高くなり、600 を越えることもめずらしくない。図2 (b)、(c)に示すように、切削工具すくい面の一部が熱的要因によって切りくずに凝着し、そのすくい面の一部が切りくずとともにつぎつぎと持ち去られることにより、すくい面摩耗が進行していく。

3.2 加工物の加工精度

加工物の焼入れ前の表面粗さは $5\mu mRy$ 、真円度は $9\mu m$ である。加工物の焼入れ焼戻し後の表面粗さは $6\mu mRy$ 、真円度は $18\mu m$ である。焼入れ焼戻しによる加工物の表面粗さの低下はみられなかった。それは、雰囲気炉を用いて加工物の表面光輝状態が保持できる油焼入れ焼戻しを行なったからである。しかし、焼入れ焼戻しにより加工物は $9\mu m$ の焼入変形を生じた。

図3に、CBN切削工具により加工物を切削したときの、切削距離の増加に対する加工物の表面粗さと真円度の

値の変化を示す。切削距離が $0.0km$ での真円度の値は $18.0\mu m$ であり、切削距離が $0.5km$ での真円度の値は $2.5\mu m$ である。このことは、CBN切削工具による焼入鋼切削により加工物の焼入変形を削り取り、その焼入変形を修正できたことを示している。切削距離が $1.5km$ から $3.0km$ へ増加するとともに、表面粗さ Ry は $4.3\mu m$ から $2.0\mu m$ へ減少した。このような現象がみられた第一の理由は、切削工具先端が摩耗することによってコナ半径が増大したためと考えられる。第二の理由は、切削工具前切れ刃の逃げ面と加工物とのバニシング作用によって表面粗さが向上したと考えられる。なお、切削距離が $0.5km$ より大きい範囲において、加工物の真円度の値は加工物の表面粗さの値に比べて大きい傾向がみられた。それは、工作機械主軸の回転振れと工作機械刃物台の剛性不足によると考えられる。

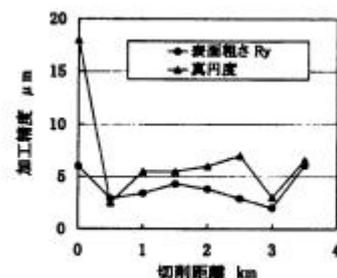


図3 加工物の加工精度

実際の切削では、切削工具に切刃傾き角 -5° 、横すくい角 -5° が設定されている。そこで、切削工具と加工物との位置関係を実切削と同一に保ち、工場顕微鏡により切削工具のコナの輪郭を測定した。その測定結果より、加工物仕上げ面の理論粗さは、 $3.5\mu mRy$ となる。この理論粗さに対し、実際に切削加工された加工物仕上げ面の送り方向の表面粗さは、切削距離が $0.5km$ から $3.5km$ の範囲において $2.0 \sim 6.1\mu mRy$ であった。

4. まとめ

CBN切削工具を用い、焼入れ焼戻しによってロックウェル硬さ63HRCに硬化した高炭素クロム軸受鋼SUJ2を精密切削した。その工具摩耗及び加工物の加工精度について調べた。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) CBN切削工具の逃げ面摩耗部には、切削方向に細長い溝状の条痕が数多く観察された。また、切削工具のチャンファ-の位置には、クレ-タ摩耗が大きく成長していた。それら逃げ面摩耗部とクレ-タ摩耗部をEDX分析したところ、加工物SUJ2の成分であるFeとSiが凝着していた。
- (2) CBN切削工具を用いた精密切削を行うことによって、加工物の焼入変形を削り取り、その焼入変形を修正できた。また、切削距離が増大して工具摩耗が進行するにつれて、加工物の表面粗さと真円度は悪化したり好転した。

本研究は平成10年度高等研究機関派遣事業として行われた。

謝辞

本研究の遂行にあたり、御指導を賜りました三重大学工学部機械工学科の五十君清司教授、鈴木実平助教授、中西栄徳助手、並びに、実験実施に御援助をいただきました中川浩希技官、そして、実験実施に協力をいただきました学部生の武馬立人君に深く感謝致します。

参考文献

- 1) J. ホ-リング：“トライボロジ”。近代科学社 p.91(1984)
- 2) 中山一雄：“切削加工論”。コロナ社。p.159 (1978)