

ハードターニングにより生成する加工変質層について

三重大学工学部工学研究科技術部

○米倉 雄治

yonekura@mach.mie-u.ac.jp

1. はじめに

従来、焼入鋼の仕上げ加工は、一般的に研磨加工が行われてきた。これは焼入鋼の硬度が高いため、超硬合金などの切削工具では安定した加工ができなかったことによる。また、R形状やテーパ形状などを加工する場合、総型砥石を使用しなければならなかった。近年、cBN(立方晶窒化ホウ素)工具の開発が進んだ事により、焼入鋼の仕上げ切削、所謂ハードターニング加工が可能となり、加工工数削減が可能となった。しかし、ハードターニング加工は被削材に与える熱や歪が大きいため、加工変質層を生成することがある。加工変質層は加工硬化や残留応力を生じ、場合によっては、疲労強度の低減などにより製品寿命を低下させる恐れがある。今回、被削材として機械構造物の強度部材に使用されている機械構造用炭素鋼 S55C を使用し、ハードターニング加工により加工変質層が生成する切削条件の検討を行ったので、結果を報告する。

2-1. 焼入鋼の切削とは

焼入鋼とは、焼入れ(熱処理)する事で硬度を上げ、疲労強度や耐摩耗性を向上させた鋼材である。熱処理には、ズブ焼入れ、高周波焼入れ、浸炭焼入れなどがあり、用途に合う熱処理を選定する。

熱処理を行うと、熱による歪などからワーク寸法の狂いが発生するため、熱処理後に仕上げ加工を行う必要がある。従来、仕上げ加工は研削加工により行われていたが、生産効率が悪くコスト削減の観点より問題があった。そこへcBN工具が開発、発売されたことにより、切削加工が可能となり、加工工数の削減が可能となった。cBNは硬度が3000HV程度であり、従来の超硬合金の硬度1500HV程度と比較しても、高硬度であることがわかる。切削工具の硬度は、被削材の3~4倍以上必要であり、焼入れ鋼の硬度は700HV程度である事から、cBNは十分な硬度を有している。

2-2. 加工変質層とは

加工変質層とは、切削や研削など機械加工時の発熱(切削加工時の発熱の熱エネルギー)や強歪(切削加工時の機械的エネルギー)により組織変化した部位の事を言う。

焼入鋼など鉄鋼材料を切削・研削加工すると、被削材に加工変質層を生成する事がある。この加工変質層はナイター腐食後の金属組織観察時に白く見えることから白層と呼ばれている。白層は主に、①強ひずみにより生成したナノ・サブミクロン結晶組織(超微細結晶粒(UFG組織))、②加工発熱によるオーステナイト化とその後の急冷によるマルテンサイト組織がある²⁾。UFG組織は、従来の加工方法では得られない微細組織であるため、近年、UFG組織を有効活用し、高強度精密部品などへの実用化に向けた研究が盛んに行われている。

白層を生成させる要因としては、切削条件や工具の逃げ面摩耗幅Vbの影響など、いくつかの報告がある。白層を有する鋼材の力学特性はいくつかの報告があり、疲労強度には、表面や内部の圧縮残留応力に比例することが報告されている。

2-3. 試験条件

CNC 旋盤にて機械構造用炭素鋼 S55C 高周波焼入鋼(φ25×500mm)の乾式外周切削を行った。S55C 高周波焼入鋼の断面硬度測定結果を図1に示す。表面から4mmまでの深さは700HV以上の硬度があることがわかる。切削に使用したcBN工具の刃先仕様を表1に、切削条件を表2に示す。被削材の金属組織、cBN工具の観察には走査型電子顕微鏡(SEM)を使用した。金属組織観察用の腐食液には、3%ナイトール(3vol% HNO₃ + 97vol% C₂H₅OH)を用いた。断面観察試料は、旋削方向と直角な面で切断した。

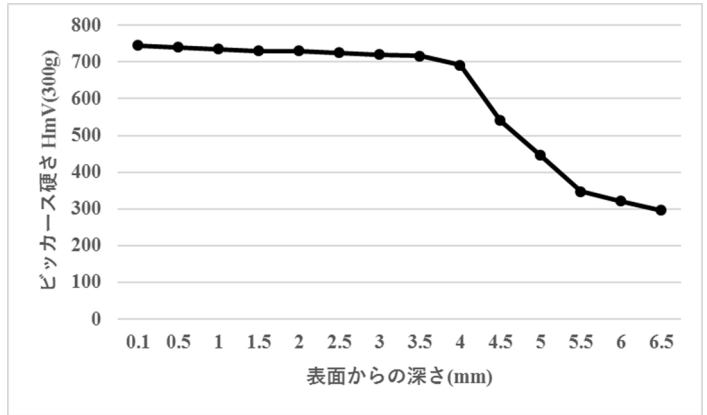


図1、ビッカース硬度測定結果

表1、cBN刃先仕様

結合材	含有率	粒度	硬度 (GPa)	コーティング	ノーズ R	ホーニング	ネガランド角	ネガランド幅
TiN	50~55%	2μm	31~34	なし	0.4mm	あり	45°	0.12mm

表2、切削条件

サンプルNo	切削速度(m/min)	送り(mm/rev)	切込み量(mm)	擦過距離(km)
①	200	0.1	0.30	2.04
②	50	0.1	0.03	2.00

3. 結果

図2に被削材表面のSEM観察結果を示す。サンプル①は2~10μm程度の厚さで白層が確認でき、表面層の組織が微細化していた。表面層の下は基材組織である焼き戻しマルテンサイトの針状組織が観察された。サンプル②は白層が観察されなかった。

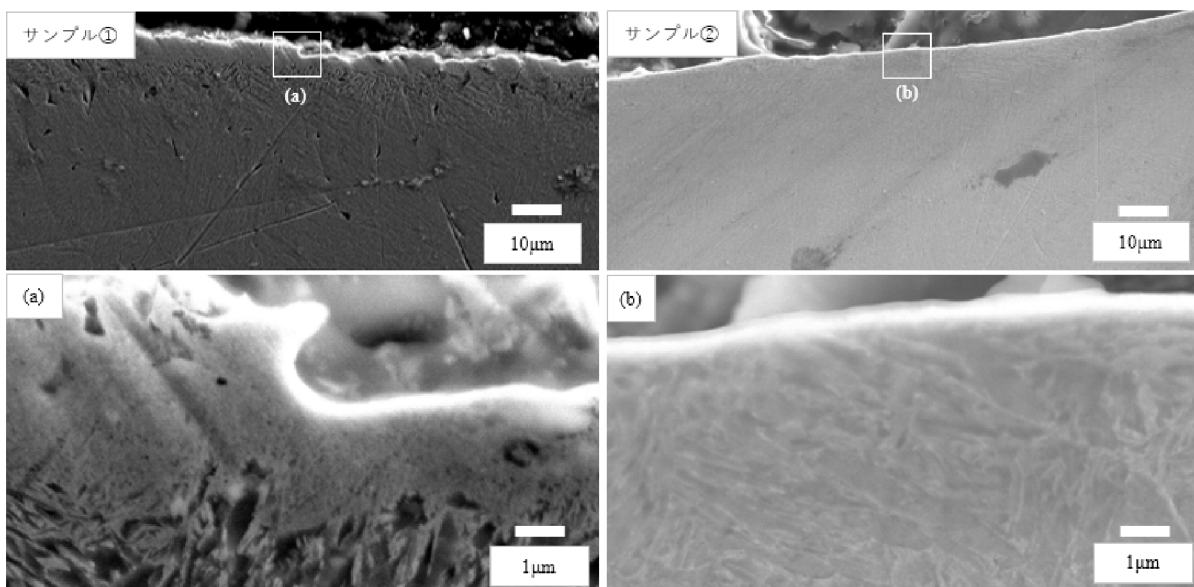


図2、サンプル①、②SEM観察結果

図3にサンプル①にて使用したcBN工具のSEM観察結果を示す。逃げ面平行部摩耗幅 V_b は $30\mu\text{m}$ 程度発生していた。

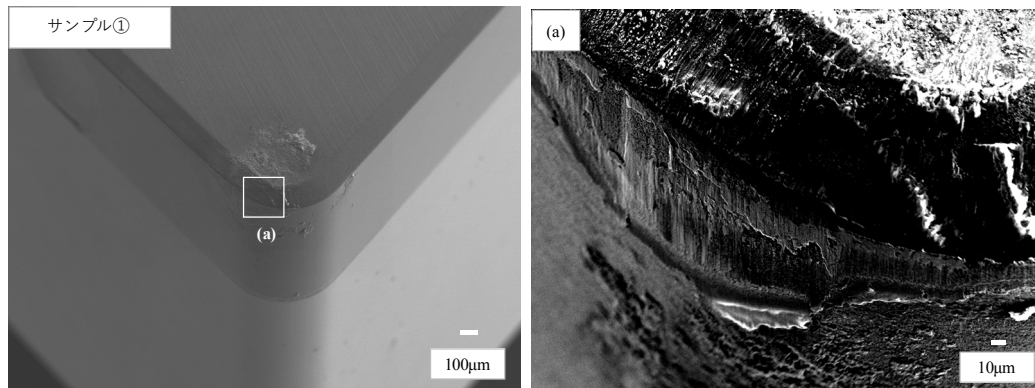


図3、サンプル①cBN工具SEM観察結果

4. 考察

cBN工具を使用したS55C高周波焼入鋼のハードターニング加工を行い、加工変質層の生成状況を調査した。その結果、切削速度大、切込量大の条件で白層が生成していた。これは切削時の発熱により表面温度が上昇、動的変態が生じ、結晶粒を微細化させたと考えられる。

参考文献

- 1) 梅本実・戸高義一・LI JINGUO 鉄鋼材料の表層超強加工による組織と特性変化 鉄と鋼 Vol. 94 (2008) No. 12
- 2) 戸高義一・川畑雄士・Jinguo Li・田中修二・小栗和幸・鈴木正・梅本実・土谷浩一 マルテンサイト鋼の高速ドリル加工によるドリル穴表層における超微細結晶粒組織形成とその力学特性 鉄と鋼 No. 1 Vol. 96, 2010
- 3) Y.B. Guo a・A.W. Warren a・F. Hashimoto The basic relationships between residual stress, white layer, and fatigue life of hard turned and ground surfaces in rolling contact CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology 2 (2010) 129–134
- 4) Ty G. Dawson・Thomas R. Kurfess TOOL LIFE, WEAR RATES, AND SURFACE QUALITY IN HARD TURNING Society of Manufacturing Engineers, 2000
- 5) 平岡和彦 転がり疲れによる白色型組織変化 Sanyo Technical Report Vol.15 (2008) No.1
- 6) S.B. Hosseinia,・T. Benob・U. Klementa・J. Kaminskia・K. Rytberg Cutting temperatures during hard turning—Measurements and effectson white layer formation in AISI 52100 Journal of Materials Processing Technology 214 (2014) 1293–1300
- 7) 平岡和彦・常陰典正 転がり疲れによる白色型組織変化形成過程に現れる針状を呈する組織の観察 Sanyo Technical Report Vol.16 (2009) No.1
- 8) F. Hashimoto1・Y.B. Guo・A.W. Warren Surface Integrity Difference between Hard Turned and Ground Surfaces and Its Impact on Fatigue Life Annals of the CIRP Vol. 55/1/2006
- 9) Y. Matsumoto・F. Hashimoto・G. Lahoti Surface Integrity Generated by Precision Hard Turning Annals of the CIRP Vol. 48/ 1/1999
- 10) 上条和之・米久保荘・菅沼幸男・飯田祐介 切削による加工変質層の評価 長野県工技センター研報 No.10, p.P26-P29, 2015