

# 高温切削における加工変質層に関する研究 (第2報)

谷口正紀\*

## Study on Damaged Surface Layers in Hot Machining (2nd Report)

Masaki TANIGUCHI

### Abstract

There are many heating methods in hot machining. The author used the Local Electric Resistance Heating Method.

The surface treated by cutting with a cutting tool has a layer different from that of the inside. We call this layer the Damaged Surface Layer. In this report hardness and fatigue life, when quenched carbon steel is cut with a cemented carbide tool under Local Electric Resistance Heating, are shown.

The results of these experiments are as follows:

- (1) When quenched carbon steel is hot-machined, the cutting surface shows little softness.
- (2) Fatigue life increases with an increase of hardness and the heating current.
- (3) The most hardened layer generated by repeating contact stress exists in about 0.2mm below the contact surface.

### 1. 緒言

金属材料の切削加工において普通の方法ではうまく切削できない材料いわゆる難削材料を切削する方法に高温切削がある。この高温切削には多くの方法<sup>1)</sup>があるが、これまではこの中の一つの方法である局部電気抵抗加熱法を用い、種々の材料に対して切削抵抗、表面あらさ、切削温度等について検討<sup>2), 3), 4)</sup>を行なった。

高温切削あるいは普通切削のいずれかの方法により加工を受けた金属材料の表面は内部金属と異なった結晶構造<sup>5)</sup>をしている。すなわち工作方向に流動し、結晶粒が微細化し、内部応力を持った加工変質層が工作物の表面にできる。この変質層は一般には加工硬化を伴っており、方向性を持ち、また大きな内部応力を持っているので加工後年月が経過する間に工作物の寸法が狂ってくるという原因になっている。

この変質層の厚<sup>6)</sup>さは加工条件によって異なり、重切削を行なったもの程大となるが、精密工作を行なってわずかずつ工作物の表面から切りくずを取り除くようにすれば、この変質層の厚さは少なくなり機械部品

として品質の優れたものが得られることが考えられる。

浅枝<sup>7)</sup>は各種の仕上を行なったときの加工層の厚さを測定している。その結果によれば研削仕上(中)、研削仕上(精)、超研削仕上、ラップ仕上、超仕上(中)、研摩紙仕上、電解仕上の順に加工変質層の厚さは少なくなり、精密な加工を行なったときほど変質層の厚さは小さくなっている。

前報<sup>8)</sup>においては炭素鋼 S35C を電気炉で 850°C に 2 時間保持し、その後は炉中冷却したものについて通電加熱切削した場合の表層の硬化、加工硬化度および表面あらさの大小が転動疲労におよぼす影響等について検討を行なった。

本報告では前報で使用した同じ炭素鋼 S35C に焼入れ、焼もどしを行ない硬度を変えて切削した場合の加工変質層について検討を行なう。

### 2. 実験条件

実験に使用した機械、装置その他の条件は次のとおりである。

#### 2.1 機械、装置

本実験に使用した加熱方法は、局部電気抵抗加熱法

\* 工業短期大学部機械工学科

で電極としては工作物のチャック側に編組銅線を巻きつけ、いっぽうの電極は工具側の工作物表面に直径3.2mmのタングステン棒を接触させて通電を行った。

工具を電極として兼用しない理由は加熱電流が大きくなった場合、時としてスパークが発生しそのために工具刃先が損傷するからである。

なお工作物のチャック側および工具側の電極保持体は旋盤本体と絶縁した。旋盤は高速旋盤を使用し、その他は次のものを使用した。すなわち定電流加熱装置、金属摩耗試験機、微小硬度計、表面あらさ計等である。

## 2.2 工具, 被削材

工具は超硬合金工具 (M10) でクランプ式である。寸法は12.7mm角, 4.78mm厚で形状は次のとおりである。(-5, -7, 5, 7, 15, 15, 0.8 R)

被削材はS35C材を使用し、熱処理は電気炉を用いて空気中で行なった。試料の残留応力の除去ならびに組織を標準組織とするため、4時間で850°Cに昇温しその温度に2時間保持したのち炉中冷却した。その化学成分および焼鈍硬度をTable.1に示す。

Table.1 Chemical composition and Hardness of workpiece.

C	Si	Mn	P	S	H <sub>v</sub>
0.34	0.29	0.60	0.002	0.012	175

寸法は外径30mm, 内径16mm, 幅8mmで転動疲労試験を行なったものは両側に2mmの面取りを行ない4mm幅を用いた。

さらにこれを800°C, 850°C, 900°Cに15分間加熱した後水焼入れ(0°C~5°C)を行なった場合の硬度を

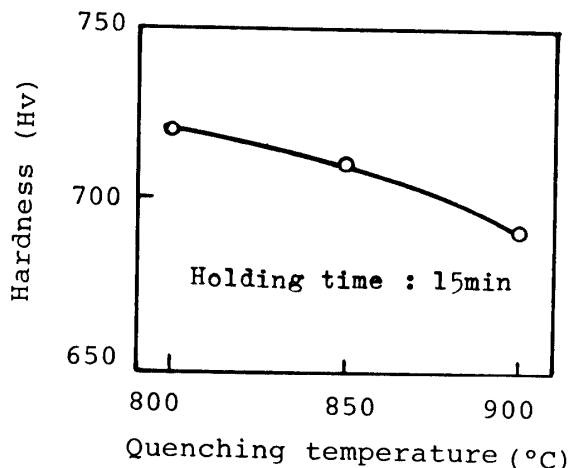


Fig. 1 Relationship between quenching temperature and hardness.

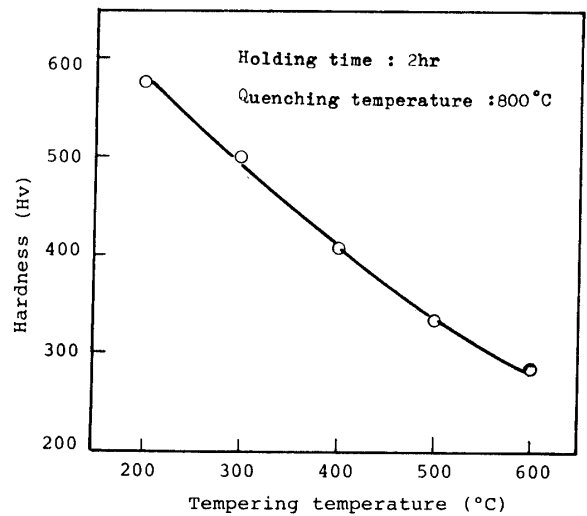


Fig. 2 Relationship between tempering temperature and hardness

Fig.1に示す。この中で最高硬度を示す800°Cを焼入れ温度に決定した。

次にFig.2は焼入れ温度を800°Cとし、前記条件で焼入れを行ない、ソルトバス中で各加熱温度に2時間保持した後空中冷却したときの硬度と焼もどし温度との関係を示す。これより本実験には焼もどし400°Cのときの硬度H<sub>v</sub>410, 焼きもどし500°Cのときの硬度H<sub>v</sub>340を使用した。

## 3. 実験方法

加熱切削の場合、タングステンの電極を工作物の外周にすべらせるため、工作物表面がなめらかであることが望ましい。そのため前加工は次の条件で研削仕上げを行なった。すなわち研削速度30m/sec, 切りこみ0.005mm, 工作物速度15m/minである。

なお、この場合の仕上面あらさは1~1.5μ(R<sub>max</sub>)である。切削条件は次のとおりである。

切込み : 0.4mm

送り : 0.045mm/rev

削り速度 : 112m/min

加熱電流 : 0, 350, 450A

次にFig.2に示すように硬度H<sub>v</sub>410(焼もどし温度400°C)および硬度H<sub>v</sub>340(焼もどし温度500°C)の場合について普通切削および高温切削における表面の硬度変化、さらに切削条件による機械的性質の一つである転動疲労時間強度を調べた。これには西原式金属摩耗試験機を用いて潤滑状態で回転数800rpm, 相対すべり速度9%, 摩擦速度1.26m/secで給油はポンプ循環式で行なった。また潤滑は上部試験片の上から常

温の軽油を 40cc/min で給油した。この場合の試験片の接触面における最大接触応力  $P_m$ (kg/mm<sup>2</sup>) はヘルツの弾性接触論により次の式で求めた。

$$P_m = \sqrt{m^2 EP / \pi(m^2 - 1) BR}$$

ここで  $P$ : 試験片に加えられる負荷荷重 (kg)

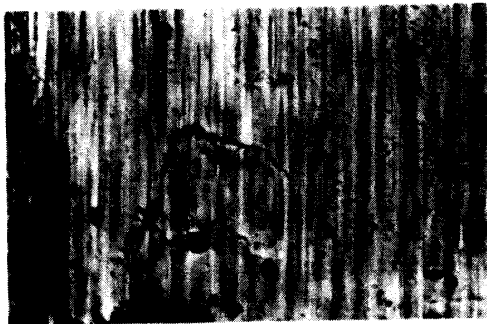
$m$ : ポアソン数

$B$ : 試験片の幅 mm

$R$ : 試験片の半径 mm

$E$ : ヤング率 kg/mm<sup>2</sup>

とし  $m=10/3$ ,  $E=21,000$ kg/mm<sup>2</sup> として計算した。ピッチング発生時期の決定は Fig. 3 のような疲労によ



0.2mm



Fig. 3 Photograph of cracks on the surface of specimen

る表面クラックが生じた時および 0.1mm 以上のピットを生じた時の接触繰返し数をもってピッチング発生点とした。なお加熱切削した後および転動疲労試験終了後、試料を軸に直角に切断し、微小硬度計を用いて試料表面からの硬度を測定し、加工硬化の状態を調べた。

#### 4. 実験結果および考察

##### 4.1 表面あらしの影響

Fig. 4 は加熱切削前後の工作物の表面あらしを示す。切削前の表面あらしは 1~1.5  $\mu$  であるが切削後では 3~4  $\mu$  程度になっている。電極に巻きついた切りくずが工作物表面に接触あるいは電極の接触状態が悪い時にはさらに荒くなる。表面あらしの大小が転動疲労試験に及ぼす影響についてはあまりないとする説もあるが次のような説<sup>9)</sup> もあり即断はできない。それによれば高速ころがり摩耗試験機を考案し、表面あらしが 1  $\mu$  程度の研削仕上面と、あらしが 0.3  $\mu$  程度のベーパー

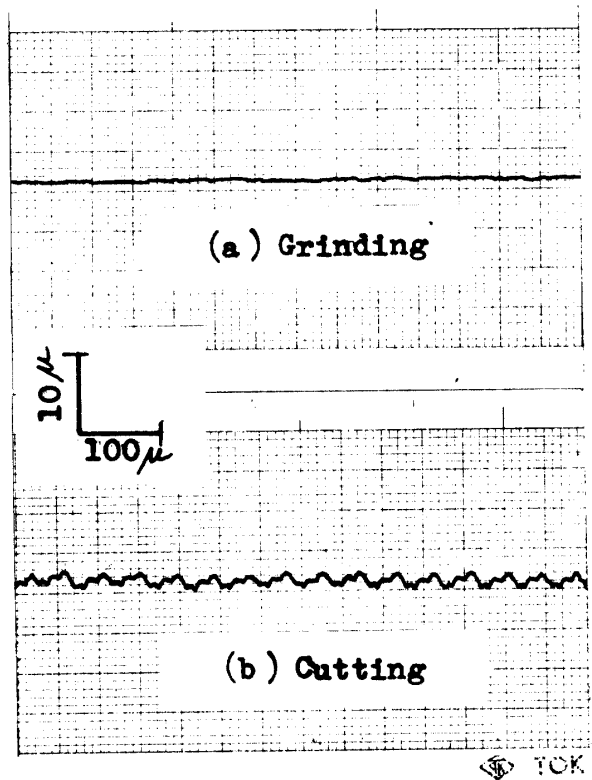


Fig. 4 Surface roughness of specimen

仕上面と、超仕上面とについて実験した。その結果は高荷重では差はないが低荷重では表面あらしの大きい方が寿命は低下している。これは低荷重では表面あらしのため衝撃荷重となり有効荷重が増えるのに対して高荷重では表面が塑性変形をしてあらしの影響が消えたのであると説明している。今回の実験ではグラフにまとめるまでには至っていないが低荷重の時には表面あらしの大小が疲労寿命に相当の影響を与える結果がでている。

##### 4.2 変質層の厚さ

次に切削条件による変質層の厚さの変化を硬度により求めると焼鈍材では Fig. 5 に示すように加熱電流 300A より 500A の方が硬化しており、表面より 0.15 mm 程度まで硬化している。さらにこの材料に焼入れ、焼もどしを行ない硬度  $H_v340$  の場合について前記条件で切削した結果を Fig. 6 に示す。この図は表面より 0.15~0.2mm 程度まで硬度が低下しているがその差は少なく加熱電流の大きい方が硬度低下が少ないことを示している。これはたとえば加熱電流 450A の時、刃先温度は前報<sup>8)</sup> で述べたように 450°C 程度になり真の切削温度はそれより高いので材料は軟化し削りやすくなり、焼なましを行なった場合と同じ結果になり硬度が低下するものと考えられる。

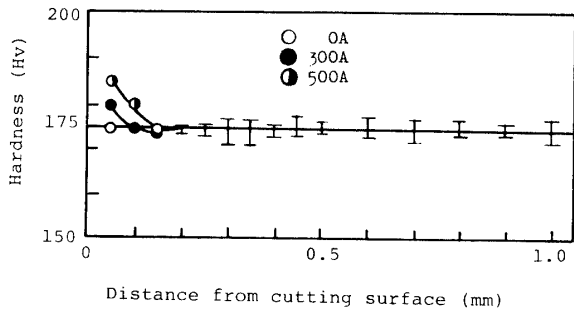


Fig. 5 Vickers hardness distribution of cutting surface. Cutting Speed : 27m/min

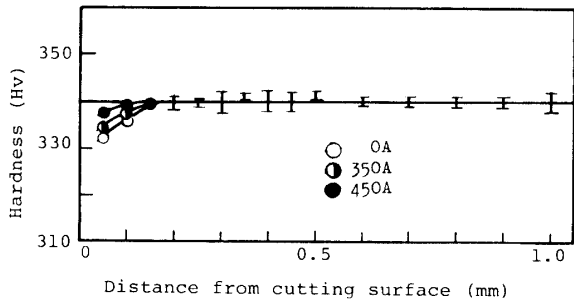


Fig. 6 Vickers hardness distribution of cutting surface. Cutting speed : 123m/min

加熱電流が少ない場合でも当然のことながら高温切削となっている。

硬度  $H_v410$  の場合は硬度  $H_v340$  より硬度低下は少ない。

### 4.3 転動疲労試験

次に Fig. 7 は硬度  $H_v340$ , Fig. 8 は硬度 410 の場合の転動疲労試験結果を示す。いずれの切削の場合も S-N 曲線の傾斜は等しくなっている。

さらに硬度の高い方がまた加熱電流の大なる方が転動疲労耐久限度は上昇している。これは Fig. 6 に示したように加熱切削を行なった方が変質層の生成が少ないことが考えられる。

また Fig. 7 では 0 A と 450 A との差はかなり開いて

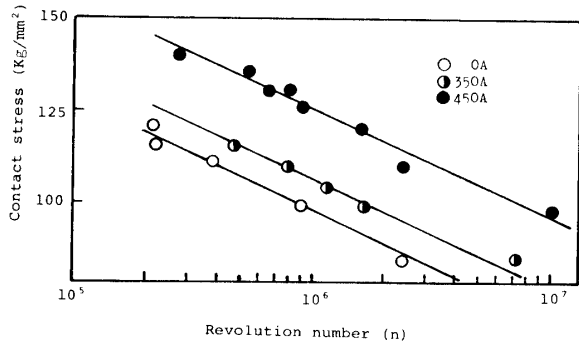


Fig. 7 Effect of contact stress on the fatigue life of specimens.

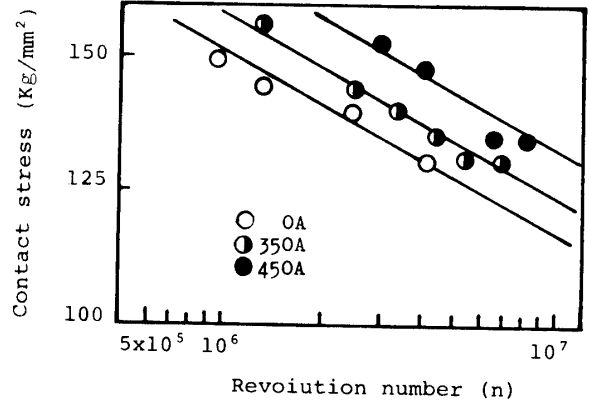


Fig. 8 Effect of contact stress on the fatigue life of specimens.

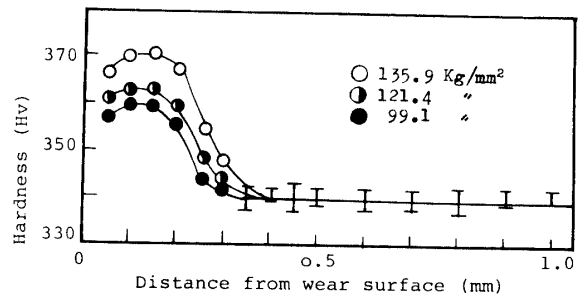


Fig. 9 Vickers hardness distribution below a contact surface of specimens Heating current : 450A

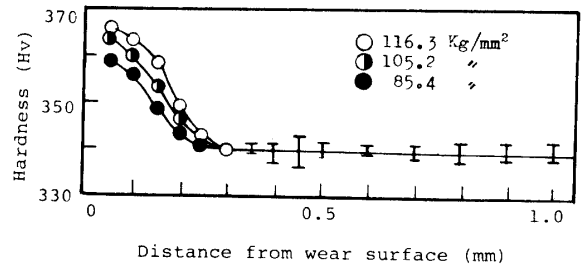


Fig. 10 Vickers hardness distribution below a contact surface of specimens Heating current : 350A

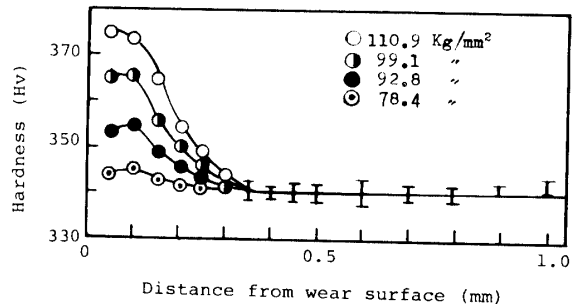


Fig. 11 Vickers hardness distribution below a contact surface of specimens Heating current : 0 A

いるが、Fig. 8 ではやや接近している。

次に Fig. 9~11 は硬度  $H_v340$ , Fig. 12 は硬度  $H_v410$

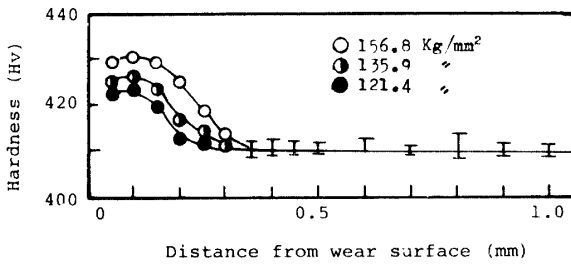


Fig. 12 Vickers hardness distribution below a contact surface of specimens  
Heating current : 350A

の各接触応力に対する転動疲労試験後の接触面下における基地硬度変化の数例を示す。

Fig. 9, Fig. 10 の場合, 接触応力の大きいほど硬度の上昇は大きく最高硬度を示す深さは深くなる傾向を示し 450A の時の深さは 0.25mm 程度まで, 350A の時は少なくても 0.2mm 程度である。Fig. 11 の 0 A すなわち普通切削では 0.2mm 程度の深さまでであるが同程度の応力で Fig. 9 および Fig. 10 の場合より硬化している。

Fig. 12 は硬度  $H_v410$ , 加熱電流 350A の場合を示す。硬度  $H_v340$  の Fig. 9~10 と比べて高い応力でも硬度の上昇は少ない。

### 5. 結 言

以上結果より次のことがわかった。

- (1) 焼入れ, 焼もどし炭素鋼 S35C を通電加熱切削した場合, 表面部はわずかながら軟化している。
- (2) 転動疲労試験では硬度が高いほど, 加熱電流が大きいほど疲労寿命は長くなっている。
- (3) 基地硬度の変化は表面から 0.2mm 前後まで, 接触応力に比例して硬化しているが, その増加の程度は硬度  $H_v410$  ではそれほど大ではない。

### 参 考 文 献

- 1) 大越 諄, 上原邦雄: 精密機械 26, 280 (1960)
- 2) 谷口正紀, 瀬戸雅文: 同 上 32, 275 (1966)
- 3) 谷口正紀, 瀬戸雅文: 同 上 32, 350 (1966)
- 4) 谷口正紀, : 同 上 33, 516 (1967)
- 5) 田中義信, 津和秀夫: 精密工作法 (上) 共立出版 (1975) p.7
- 6) 渡辺十郎, 荒木田豊, 本間亮介: 機械学会論文集 27, 1620 (1961)
- 7) 浅枝敏夫: 機械の研究 2, 15 (1950)
- 8) 谷口正紀: 山口大学工学部研究報告 25, 13 (1974)
- 9) 佐藤健児: 金属の摩耗とその対策 養賢堂 (1973) p.24

(昭和51年10月5日受理)