

高温切削における加工変質層に関する研究 (第3報)

谷 口 正 紀*

Study on Damaged Surface Layers in Hot Machining (3rd Report)

Masaki TANIGUCHI

Abstract

In this report, as well as 2nd one, the author used the Local Electric Resistance Heating Method. The surface of metallic materials treated either by hot-machining or by cold-machining has a layer different from that of the inside.

We call this layer the Damaged Surface Layer. This report shows about the Damaged Surface Layer of hot-machining carbon steel S45C, comparing with that of cold-machined one; this carbon steel S45C is treated by annealing, quenching, and tempering.

The result of these experiments are as follows:

- (1) When annealed carbon steel S45C is hot-machined, the cutting surface shows little hardness.
- (2) When quench-tempered carbon steel S45C is hot-machined, work hardening by machining doesn't show very much.
- (3) Fatigue life increases with an increase of heating current.

1. 緒 言

切削加工の最終目標は、要求される形状、寸法、表面性状の品物を確実に経済的に製作することである。

仕上面の品位¹⁾については幾何学的品位と表面品位が問題となる。前者は寸法精度、形状精度、粗さ等が対称となり、後者は加工変質層や残留応力、クラック等が問題にされる。また研削加工の場合の残留応力²⁾についてもいろいろ検討されている。

本研究の第1報³⁾においては炭素鋼 S35C を通電加熱切削した場合、加熱硬化度は加熱温度の上昇とともに増大すること、接触応力の繰返しによる加工硬化度は接触応力が大きいほど大きくなることおよび表面粗さの違いが転動疲労におよぼす影響について調べたが粗さの小さい範囲ではあまり影響はないこと等がわかった。第2報⁴⁾においては熱処理を行った炭素鋼S35C を通電加熱切削した場合、表層部はわずかながら軟化していること、転動疲労寿命試験では焼入れ硬度が高いほど、また加熱電流が大きいほど疲労寿命は長くなっていることおよび基地硬度の変化は表面から 0.2mm まで接触応力に比例して硬化すること等がわかっ

た。

本報においては炭素鋼 S45C に焼なまし、焼入れおよび焼きもどしを行ったものについて加熱切削を行い、普通切削と比較しながら加工変質層について検討を行う。

2. 実 験 条 件

本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

本実験の被削材の加熱方法は局部電気抵抗加熱法を用いた。電極としては被削材のチャック側に編組銅線を巻きつけ、他方の電極は心押軸側にホルダーに取りつけた直径 3.2mm のタングステン棒を接触させて通電を行った。なお被削材のチャック側および工具側の電極ホルダーは旋盤本体と絶縁した。旋盤は三菱製高速旋盤 HL-300型を使用した。そのほか、近藤製万能円筒研削盤、山菱製定電流加熱装置、島津西原式金属耗試験機、島津製微小硬度計等を使用した。

* 工業短期大学部機械工学科

2.2 工具, 被削材

工具材種は超合金工具 M10でクランプ式である。寸法は12.7mm角, 厚さ4.8mmでその刃先形状は $-5^\circ, -7^\circ, 5^\circ, 7^\circ, 15^\circ, 15^\circ, 0.8\text{mmR}$ である。

被削材は炭素鋼S45Cを使用した。残留応力の除去ならびに標準組織とするため電気炉を用い, 4時間で 850°C に昇温しそのまま2時間保持し, その後は炉中冷却した。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	Hv
0.46	0.29	0.65	0.003	0.0013	200

寸法は外径30.8mm, 内径16mm, 幅8mmで転動疲労試験を行ったものは両側に2mmの面取りを行った。次にこれを $750^\circ\text{C}, 800^\circ\text{C}, 850^\circ\text{C}, 900^\circ\text{C}$ に5分, 10分, 15分間加熱した後水焼入れ($0^\circ\text{C}\sim 5^\circ\text{C}$)を行った場合の硬度を Fig. 1 に示す。この中で最高硬度を示す 800°C を焼入れ硬度に決定した。

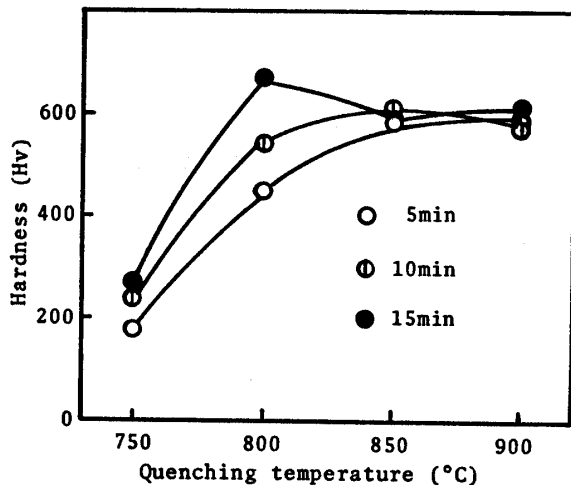


Fig. 1 Relationship between quenching temperature and hardness

次に Fig. 2 は 800°C に15分間加熱した後水焼入れ($0^\circ\text{C}\sim 5^\circ\text{C}$)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 300°C のときの硬度 Hv385 と焼きもどし 450°C のときの硬度 Hv 305を使用した。

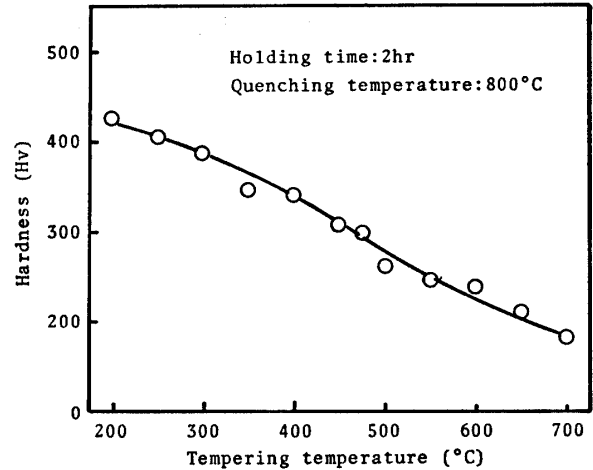


Fig. 2 Relationship between tempering temperature and hardness

3. 実験方法

焼鈍したものおよび焼入れ, 焼もどしを行った材料に対していずれも前加工は次の条件で研削仕上げを行った。すなわち研削速度 30m/sec , 切込み 0.005mm , 工作物速度 15m/min である。この場合の仕上面粗さは $1\sim 1.5\mu$ (R_{max})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 : 112 m/min
- 加熱電流 : $0.250. 350. 450\text{A}$

上記の条件で常温切削と高温切削を行い, 表面粗さ, 被削材表面の硬度変化, 転動疲労時間強度を調べた。

これには島津西原式金属摩耗試験機を使用した。

接触状況は潤滑状態で回転数は 800rpm , 相対すべり速度 9% , 摩擦速度 1.26m/sec で給油はトロコイドポンプを用い循環式で行った。なお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^2) は前報⁴⁾で述べたヘルツの弾性接触論により求めた。

それにより求めた荷重と最大接触応力との関係を Table. 2 に示す。(試験片の半径 15mm , 幅 4mm)

Table. 2 Relationship between load and maximum contact stress

load (kg)	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
maximum contact stress (kg/mm ²)	79.2	86.7	93.7	100.2	106.3	112.0	117.5	122.7	127.7	132.5	137.2	141.7	146.1

ピッチング発生時期の決定は疲労によ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。その状況を Fig. 3 に示す。

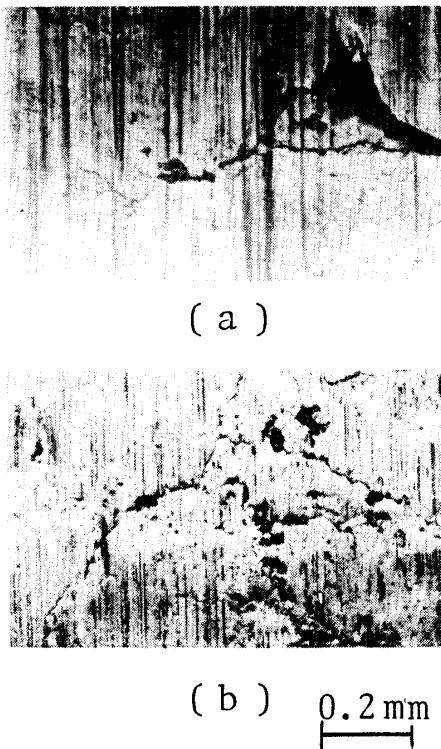
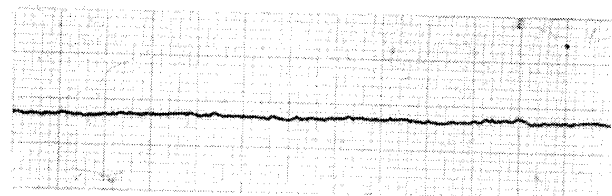


Fig. 3 Photograph of cracks on the surface of specimens

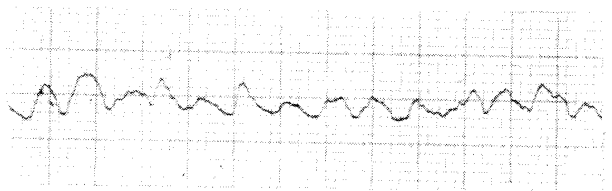
	a	b
Tempering temperature	300°C	450°C
Heating current	350A	450A
Contact stress	120kg/mm ²	137kg/mm ²
Revolution number	2,000,000	350,000

次に切削後および転動疲労試験終了後試料をマイクロカッターを用い、軸に直角に切断し、樹脂に埋込み、研磨後微小硬度計を用いて試験片表面からの硬度を0.025, 0.05, 0.1mmの間隔で表面に近いほど小さい間隔で測定し、加工硬化の状態を調べた。測定位置は幅4mmの中央とそれから両方に1mmずつ離れた所の計3カ所を表面より深さ1mmまで測定した。

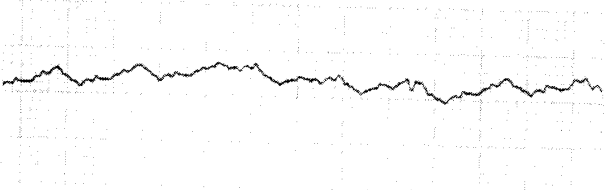
試料を樹脂に埋込む場合、その配合により高温にならないように注意し、研磨布紙によるみがきにも細心の注意をはらった。



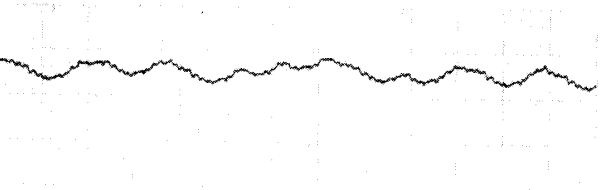
(a) Grinding



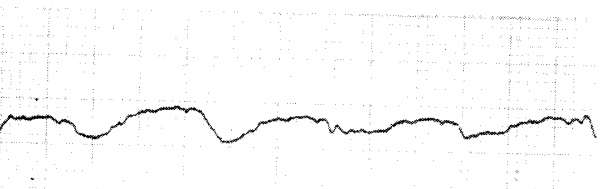
(b) Cutting 0A



(c) Cutting 250A



(d) Cutting 350A



(e) Cutting 450A

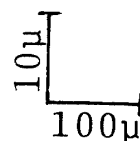


Fig. 4 Surface roughness of specimens (Tempering temperature 300°C)

4. 実験結果および考察

4.1 表面粗さについて

加熱切削後の工作物の表面粗さを Fig. 4 に示す。この図は400°C焼もどしの場合で研削, 0 A, 250A, 350A, 450A切削の順にそれぞれ1, 3.5, 3, 3μとなっており, 粗さ曲線のピッチは加熱電流が大となるほど広がっている。またその時の切りくずは加熱電流が大となるほど伸びて帯状となる。

切削前の表面粗さは前記条件で研削仕上げを行っているのですべて最大高さ Rmax 1~1.5μ の範囲内にある。切削後は最も粗さが良い時で2μ, 最も悪い時は電極の接触不良によりスパークが発生し10μ程度になったが6μ以上のものは転動疲労試験は除外した。

炭素鋼 S35C の場合³⁾でも粗さが2~6μの範囲では転動疲労におよぼす影響は認められないようであっ

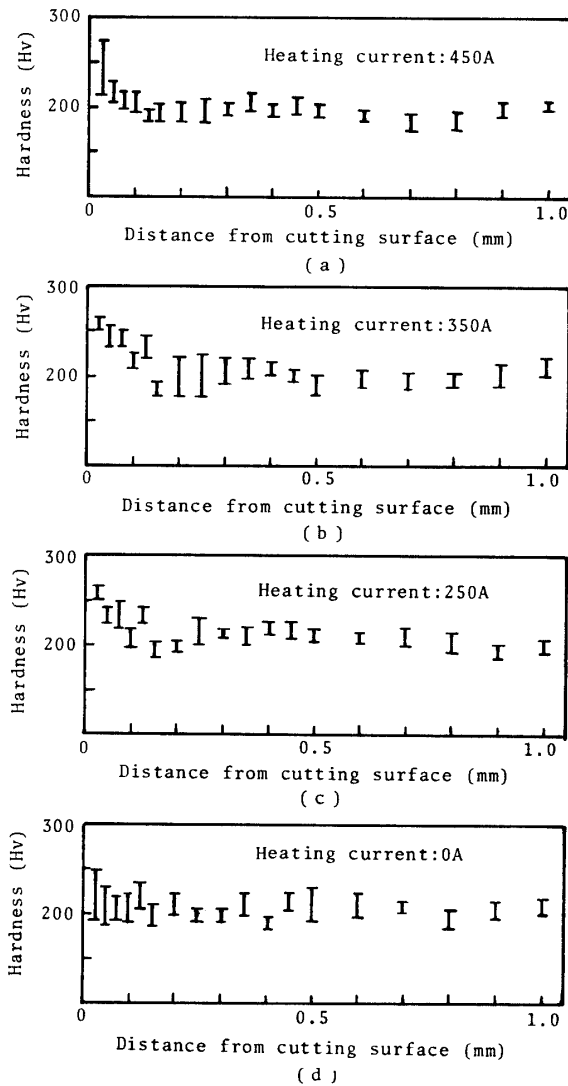


Fig. 5 Vickers hardness distribution of cutting surface

たので, 本実験においても粗さが上記の範囲にあるものについて検討を行った。

4.2 加工硬化

焼なまし材について普通切削および加熱切削を行った場合の加工硬化の状態を Fig. 5 に示す。表層からの深さにはそれほど差はないが, 表層から0.1mm程度まで高温で切削した方が大きく硬化している。

S35Cを切削速度27m/minの低速度で切削した時にも同様の結果が得られた。

切削速度が112m/minの加熱切削の場合は普通切削より約200°Cの切削温度上昇となるため材料の表面が強制的に熱せられ, その直後に空冷されるためと考えられる。

4.3 転動疲労試験

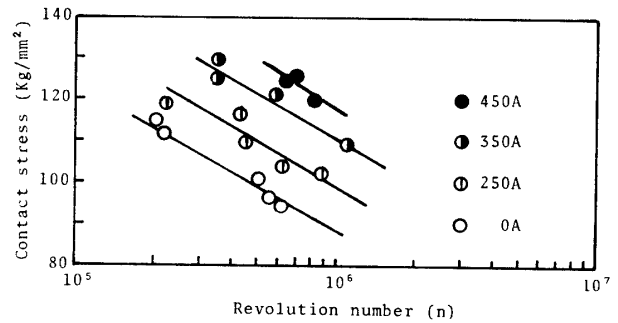


Fig. 6 Effect of contact stress on the fatigue life of specimens

Fig. 6は焼なまし材の転動疲労試験結果を示す。加熱電流が大きくなるほど転動疲労耐久限度は上昇している。これは硬度が増加したためあるいはこのような状態では加工変質層そのものが普通切削より安定であるためと考えられる。

次に Fig. 7 に示すように接触応力を増加させれば

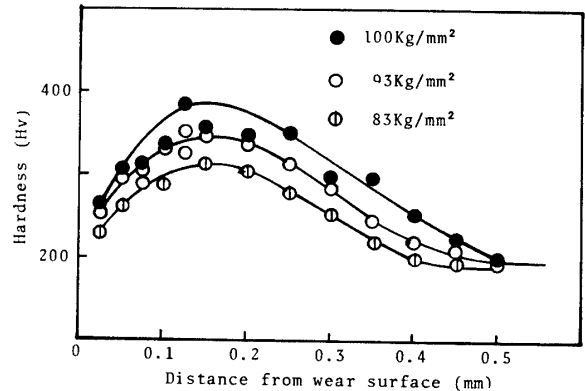


Fig. 7 Vickers hardness distribution below a contact surface of specimens

硬度の上昇は大きく、表面よりも内側の方が硬化している。この図では最高硬度は表面より0.15~0.2mmの深さにあることがわかる。ころがり摩耗が完全ですべりがなくしかも荷重による応力が材料の弾性限度以下の場合には、割れは表面からではなく、表面からある距離だけ内部に入った点に最初に発生するということはすでに定説⁶⁾になっている。本実験では9%のすべりを伴っているので疲労限度は完全なころがりと比較してかなり低下しているものと考えられる。

大越・佐田⁷⁾によれば軟鋼ローラを用いた実験結果は、わずか4.5%のすべりによって疲労限度が50kg/mm²から40kg/mm²へと低下している。また、焼入れ軸受鋼のローラを用いた黒田⁸⁾の実験によれば、すべりなしの疲労寿命6.48×10⁶回がわずか1.16%のすべりによって1.15×10⁶回へと低下している。

4.4 硬度変化

焼入れ材 Hv 385の材料について前記条件で切削を行い加工硬化を調べたものを Fig. 8 に示す。表層部は少し硬度が低下しているが加熱電流が450Aの場合は硬化している。

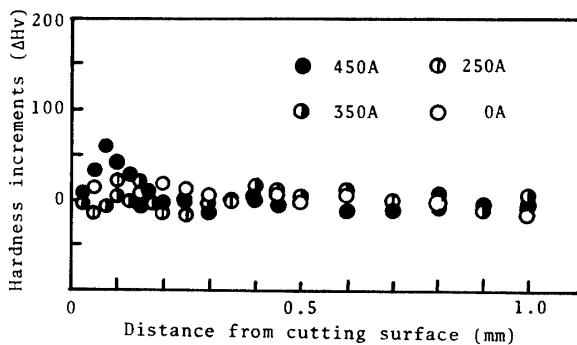


Fig. 8 Relationship between distance from cutting surface and hardness increments (tempering temperature : 300°C)

次に試験片の最高基地硬度と試験前の基地硬度との差を加工硬化度(ΔHv)として、焼入れ材について加工硬化度と接触応力との関係を Fig. 9 に示す。参考までに S35C 材の場合の加工硬化度も示す。

この図より450°C 焼もどし材の方が ΔHv の値は大きい傾向を示している。これは接触応力の繰返しを受けて硬化する部分は基地であり、焼もどし450°C の時が最もはげしい加工変質部を生じているものと考えられる。

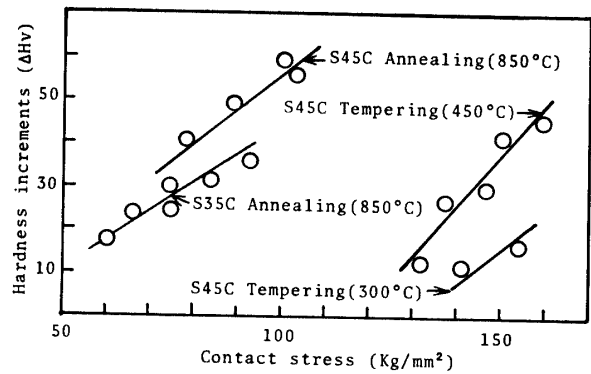


Fig. 9 Relationship between contact stress and hardness increments

4.5 ころがり摩耗の疲労寿命

800°Cで焼入れを行ったものを300°Cおよび450°Cで焼もどしを行い前記の条件で転動疲労試験を行った。その結果を Fig. 10 と Fig. 11 に示す。Fig. 10 は300°C 焼もどしで Hv385。Fig. 11 は450°C 焼もどしで Hv 305 の場合である。どちらも加熱電流が大きくまた硬度の高い方が転動疲労耐久限度は上昇している。

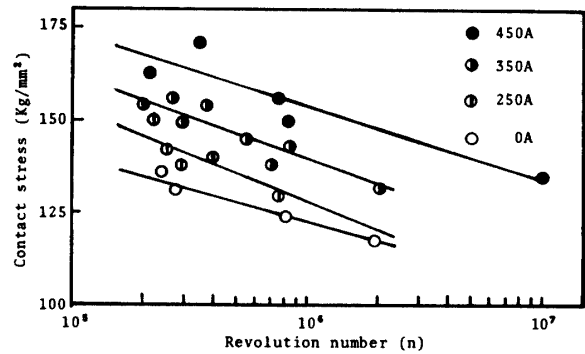


Fig. 10 Effect of contact stress on the fatigue life of specimens (Tempering temperature 300°C)

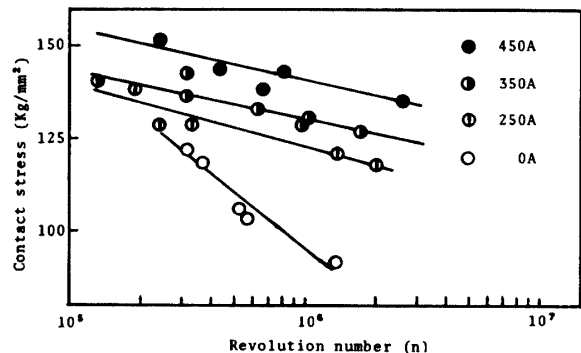


Fig. 11 Effect of contact stress on the fatigue life of specimens (Tempering temperature 450°C)

Fig. 11の焼もどし450°Cの時、普通切削の傾向が少し異なるのは上下試験片の片当りが原因と考えられる。このような場合、接触幅が小さくなり局部的に大荷重がかかり早く寿命に到達するものと考えられる。

5. 結 言

以上の結果より次のことがわかった。

A. 焼なまし材について

(1) S45C を通電加熱切削した場合表面より0.1mm程度まで硬化している。また加熱電流に比例して硬化している。

(2) 接触応力の繰返しによる加工硬化度は接触応力が大きいほど大きくなっている。

B. 焼入れ材について

(1) 切削後の加工硬化はあまり表われていない。

(2) 加熱電流の増加に伴ない疲労寿命はのびている

ので加熱切削後の加工変質層は薄くなっているものと推定できる。

(3) 同じ条件下では大きな荷重の方が加工変質層は深くなっている。

参 考 文 献

- 1) 山本 明：機械の研究 29, 359 (1977)
- 2) 岡村健二郎ほか数名：精密機械 43, 814 (1977)
- 3) 谷口正紀：山口大学工学部研究報告 25, 13 (1974)
- 4) 谷口正紀：山口大学工学部研究報告 27, 263 (1977)
- 5) 谷口正紀, 瀬戸雅文：精密機械 32, 275 (1966)
- 6) 佐藤健児：金属の摩耗とその対策, 養賢堂 (1973) p. 19
- 7) 大越 淳, 佐田登志夫：科研報告 33, 1 (1957)
- 8) 黒田昌夫：潤滑 5, 291 (1960)

(昭和52年9月9日受理)