

## 論 文

UDC 669.14-156 : 539.538.015.1

## 0.45%C 炭素鋼の摩擦摩耗による組織変化に関する研究\*

北川和夫\*\*・関 文男\*\*\*・上田益造\*\*\*・坂田信二\*\*\*\*

## The Study of Structural Change due to Abrading in Carbon Steel

Kazuo KITAGAWA, Fumio SEKI, Masuzō UEDA, and Shinji SAKATA

## Synopsis:

In Carbon steel, quenching method is used frequently to obtain the wear resistibility of sliding surface because of its convenience. However it can be considered that the structural change due to frictional heating under severe sliding condition have not a little influence on wear behavior.

Then in this paper, the structural change of quenched and tempered S45C carbon steel due to abrading was studied in a point of view of hardness change and microstructure, and moreover the relation between the structural change and wear behavior was discussed.

Main results obtained for quenched materials were as follows.

- 1) As sliding load increased, the hardness just under sliding surface decreased, and the minimum point that appeared in hardness distribution curve in the vicinity of sliding surface shifted to deep point decreasing its value.
- 2) It was found that the martensite in the vicinity of sliding surface disappeared and spheroidal cementite precipitated under heavy sliding load.
- 3) Wear resistibility was very favorable when sliding load was slight, however the effect of quenching became weak extremely due to softening of surface layer when sliding load was heavy.
- 4) When the material which was softened by abrading was abraded again, the wear decreased under heavy sliding load, but increased under light sliding load.

Above results indicate that the hardening method by quenching is available only when the sliding condition is always mild.

(Received Oct. 25, 1973)

## 1. 緒 言

実用機械では、通常摩擦面に耐摩耗性を持たせるため何らかの処理をするのが普通であり、一般には表面硬さを上げる場合が多い。炭素鋼においては最も簡便な方法として、焼入れ硬化法が用いられる場合が多いが、潤滑条件が適当でなかつたり、あるいは使用条件が苛酷なときは摩擦温度が上昇し、そのため焼戻し効果による表面層の組織変化が生じて、摩擦摩耗現象に少なからぬ影響をおよぼすことが考えられる。

従来から炭素鋼の摩擦摩耗による変質層については多くの報告<sup>1)</sup>があるが、大部分は焼戻し材の場合で、焼入れ材の組織変化については研削加工によるものの他はあまりみられない。そこで本研究は主として焼入れ材の組織変化について、2, 3の基礎的実験を行ない、焼戻し材の場合と比較検討した。ただしこの問題を定量的に論ずるには摩擦熱によるマルテンサイト相の分解、摩擦荷重

および摩擦力による応力硬化、さらには摩耗による相対的な位置の変化など、複雑な因子が入るため困難であるから、本論では定性的な議論にとどめることにし、主として硬さ変化、および顕微鏡組織観察から摩擦摩耗挙動との関係を考察した。

## 2. 実 験 方 法

本実験に使用した摩擦摩耗試験機は、アムスラー型摩擦試験機を一部改造したもので、ピン-リング方式による乾燥摩擦試験で、すべて大気中で行なつた。そのため室温および湿度変化による摩擦条件の変動は避けられないが、本論ではそれを無視することにする。試験片の形状、寸法は Fig. 1 に示すとおりである。またピンおよび

\* 昭和46年10月本会講演大会にて発表

昭和48年10月25日受付

\*\* 金沢大学工学部

\*\*\* 金沢大学工学部 工博

\*\*\*\* 金沢大学工学部大学院

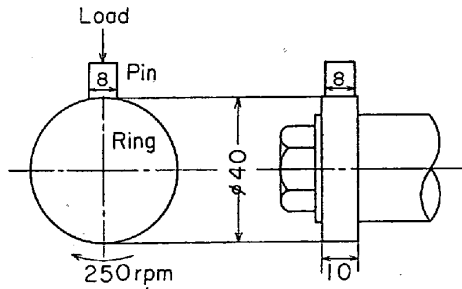


Fig. 1. Schematic view of wear testing method. (mm)

Table 1. Chemical composition of test piece.

Test piece	C	Si	Mn	S	P
Pin	0.43	0.25	0.72	0.022	0.013
Ring	0.45	0.26	0.67	0.013	0.019

リングの化学組成を Table 1 に示す。リングにはソルバイト組織に調質した S45C 炭素鋼を高周波焼入れしたもの (MHV 730) を用い、ピンには S45C 炭素鋼を 850°C 塩浴中で 30 分加熱した後、水焼入れを行なったもの (MHV 760), およびそれを真空中 700°C で焼戻した材料 (MHV 230) を使用した。以後それぞれについて焼入れ材, 焼戻し材と呼ぶことにする。ピンおよびリングは加工の際にできる変質層を除去するために、過塩素酸-無水酢酸混液により電解研磨を行なつてから使用した。また摩擦条件は摩擦速度 0.25m/sec, 摩擦荷重 25 kg~75 kg, 摩擦距離 2500m である。ここで摩擦荷重条件を大きくとつたのは摩擦による組織変化を明確に出すためである。なお摩耗量は重量減により測定した。硬さ分布測定については摩擦面を軽く洗浄し、その面を厚くニッケルメッキした後、断面をマイクロビッカース硬さ試験機 (荷重 25 g) によつて測定した。また摩耗粉の X 線回折条件は前報<sup>2)</sup> のとおりである。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 摩耗特性

Fig. 2 に焼入れしたピンを使用した場合について、ピンおよびリングの摩耗率と摩擦荷重との関係を示す。摩擦荷重 25 kg 程度では、ピンの摩耗率は極めて小さいが、摩擦荷重の増加とともにほぼ直線的に漸増し、55 kg 以上では急激に増大して、本実験条件における摩耗特性に、いわゆる遷移荷重が存在していることを示している。これに対してリングは低摩擦荷重において比較的摩耗率は高いが、摩擦荷重が増加するにつれて減少し、75 kg では著しく小さい値となつている。ここで遷移荷重以上の摩擦条件における、摩耗量と摩擦距離との関係につい

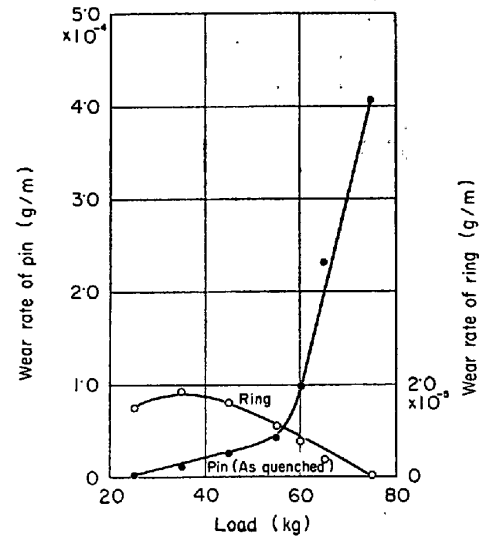


Fig. 2. Relation between wear rate and sliding load for pin and ring.

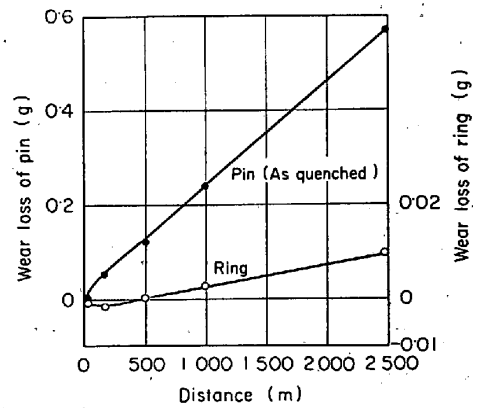


Fig. 3. Change of wear loss of pin and ring to sliding distance (Sliding load is 65 kg).

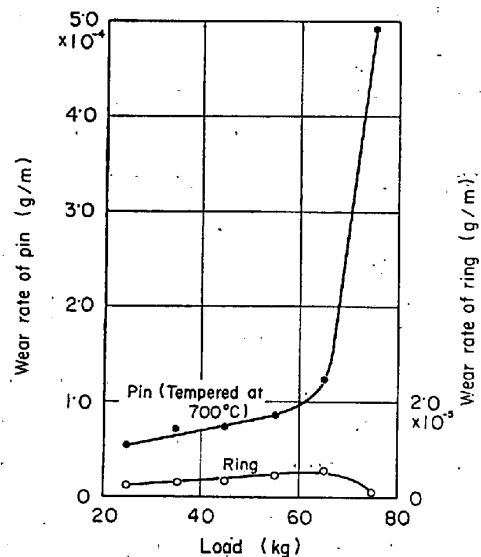


Fig. 4. Relation between wear rate and sliding load for pin and ring.

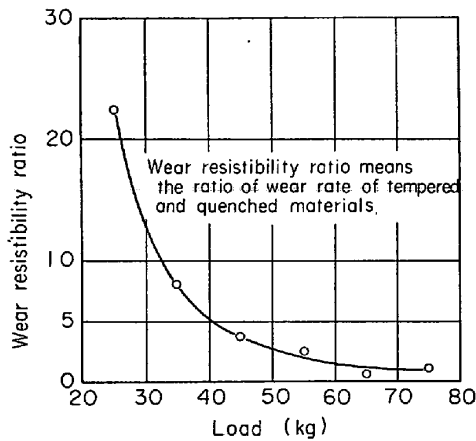


Fig. 5. Relation between the wear resistibility ratio and sliding load, showing that the effect of quenching become weak as increase of load.

て摩擦荷重 65 kg の場合を一例として Fig. 3 に示す。ピンは摩擦距離とともにほぼ直線的に摩耗率は増大するが、これに対してリングは摩擦初期に摩耗率は負の値をとり、その後は漸増している。

つぎに 700°C で焼戻したピンを使用した場合について、摩耗率と摩擦荷重との関係を Fig. 4 に示す。ピンの摩耗率は焼入れ材の場合に比べて相対的に高いが、傾向は同じである。またリングについては遷移荷重を越えた 75 kg では焼入れ材の場合と同様、きわめて小さい値となつている。遷移荷重以上でリングの摩耗率が非常に小さくなることについて、焼入れ材および焼戻し材について以下のような推論が可能であろう。すなわち、摩擦荷重が増大して発生熱が大きくなると、ピンはリングに比べて熱容量が小さいこと、さらにリングの場合は摩擦面の移動による冷却作用があるが、ピンにはそれがないたため摩擦面近傍の温度が容易に上昇し、そのため凝着による破断がほとんどピン側で生じ、しかも破断された摩耗粉が比較的溫度の低いリングに移着したまま冷却する頻度が大きいためと考えられる。

つぎにピンについて、焼戻し材と焼入れ材の摩耗率の比を耐摩耗比と定義し、それと摩擦荷重との関係を Fig. 5 に示す。これによれば、摩擦荷重によつて耐摩耗比は著しく異なり、摩擦荷重 25 kg のとき焼入れ材は焼戻し材に比べ 20 倍以上の耐摩耗性を有しているが、摩擦荷重が増大すると耐摩耗比は急激に減少している。すなわち本実験条件における限り、低摩擦荷重ほど焼入れによる耐摩耗効果は大きく、摩擦荷重が大きいとその効果は弱くなると言える。この最も大きな原因は、焼入れ材の摩擦熱による軟化作用にあると思われる。すなわち、低摩

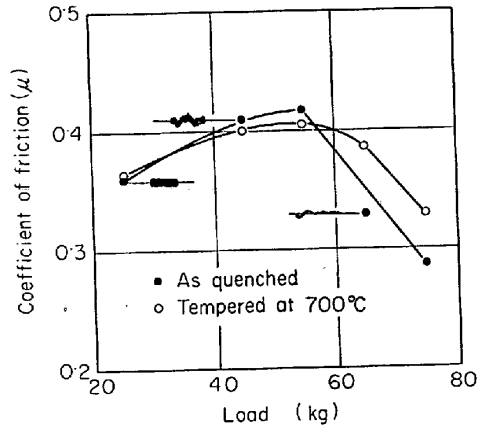


Fig. 6. Relation between coefficient of friction and sliding load for quenched and tempered materials.

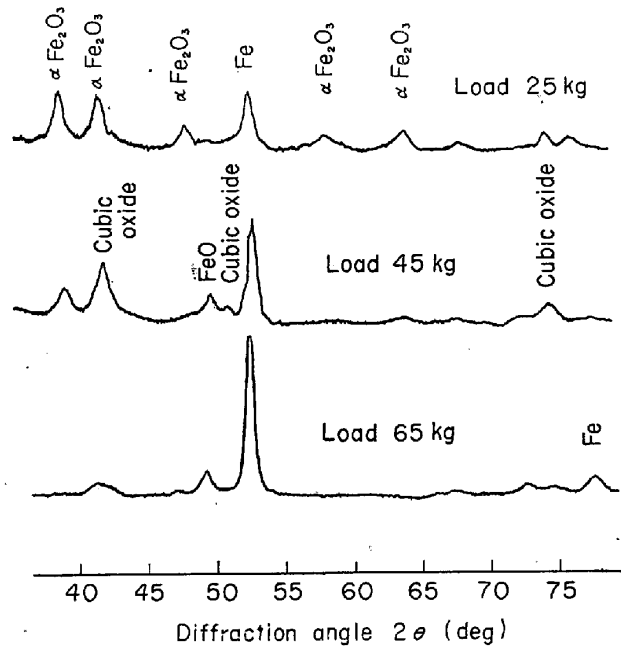


Fig. 7. X-ray diffraction patterns of wear debris for quenched materials.

擦荷重のときは摩擦熱による表面層の軟化が少ないため、接触部での破断が硬さの高い地組織よりも酸化膜部分で生じやすく、さらに破断した酸化物も摩擦面の窪みに沈積し、地組織の塑性変形が小さいことも相まって、効果的に安定な摩擦面を形成するが、高摩擦荷重では地組織の軟化と塑性変形の増大のため、上述のような摩擦面は形成され難く、したがって耐摩耗性は著しく劣化されるものと推察されよう。

以上のような結果から、苛酷な摩擦条件下では、焼入れによる耐摩耗性は期待できないことが明らかとなった。

つぎに摩擦荷重と摩擦係数との関係を Fig. 6 に示す。摩擦荷重 55 kg までは焼入れ材、焼戻し材とも摩擦荷重

の増大につれて摩擦係数も増大する。また遷移荷重以上ではいずれの摩擦係数も急減しているのがみられる。ここで焼入れ材の場合について、Fig. 7 に示す摩耗粉の X 線回折パターンと併せて摩耗状態を推察してみた。なお本実験では摩耗粉の回収量が少ないため半定量分析は行なわず、前報<sup>2),9)</sup>にて示す X 線強度-成分重量校正曲線から量的におおまかな推定を行なった。

摩擦荷重 25 kg では  $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$  を主として、わずかに  $\alpha\text{Fe}$  がみられる。酸化物として  $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$  しか発生しないということは、摩擦面温度が比較的低温、いわゆる低温酸化摩耗状態であることを示している。摩擦係数が低いのもそのためであろう。ところが摩擦荷重 45 kg では  $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$  の他に立方晶系酸化物 ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$  もしくは  $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) と  $\text{FeO}$  の発生が見られ、また相対的に  $\text{Fe}$  の量も多くなっている。ここで  $\text{FeO}$  が発生していることから摩擦面は局部的に高温になつており、 $\text{FeO}$  の生成温度<sup>9)</sup>である  $570^\circ\text{C}$  を越えている可能性はあろう。またこのとき摩擦面は軟化しているため凝着が活発となり、そのために摩擦係数も高くなつている。摩擦荷重 65 kg では  $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$  はまったく見られず、立方晶系酸化物、 $\text{FeO}$ 、それに大量の  $\text{Fe}$  がみられる。ここで  $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$  が発生しないこと、および摩擦係数が低いことより摩擦面は局部的に溶融軟化しているか、あるいは溶融していないにしてもかなり粘性化し、摩擦面近傍のせん断破壊強さが著しく小さくなり、摩耗が急速に進行したものと了解される。ちなみに焼入れ材で摩擦荷重が 25 kg, 45 kg, 65 kg の場合について、摩擦係数の変動状態を見ると摩擦荷重 65 kg の場合は変動が少なく、真実接触部の大多数は溶融軟化状態にあり、しかも、摩擦温度と摩耗との相関についての詳細な検討結果<sup>4)</sup>によれば、炭素鋼では平均温度  $200\sim 250^\circ\text{C}$  を境として、それより高ければ急激に摩耗は増大することから、本実験では定性的ではあるが、遷移荷重以上では摩擦面近傍は非常に高温になつていることがうかがえる。

### 3.2 変質層の硬さ

Fig. 8 に焼入れ材および焼戻し材の 2500m 摩擦後における、摩擦面に垂直な断面の硬さ分布曲線の一部を示す。焼入れ材の場合、摩擦面直下の硬さは高いが、内部に入るに従い減少し、極小値を経て再び上昇して一定値に近づいている。この硬さ分布傾向は、研削加工された焼入れ材においてすでに観察されている<sup>5)-8)</sup>。この研削加工によつて生ずる硬さ分布曲線について、最外表面層は再焼入れによつて硬化したものであり、硬さの低い部分は研削熱により、焼戻し効果を受けたものであることが認められている。この場合、研削液を用いているため、

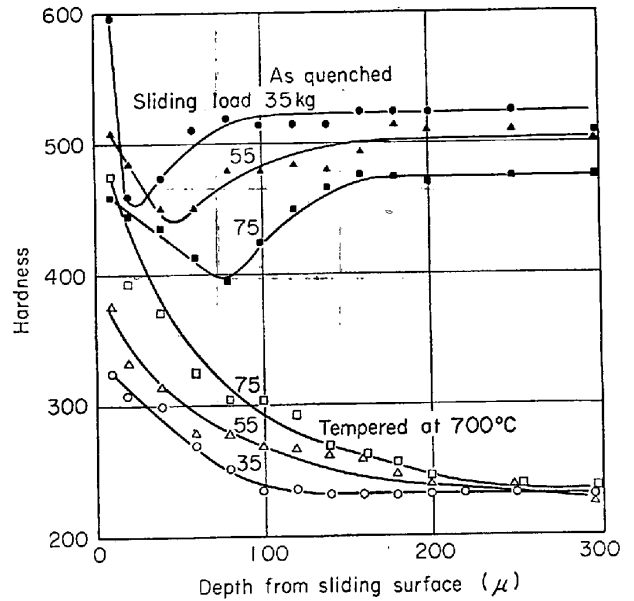


Fig. 8. Hardness distribution curves for quenched and tempered materials.

接触高熱部の移動時に急冷効果があるから再焼入れ効果は十分認められよう。しかし、本実験の場合は乾燥摩擦であるため急冷効果は少ないこと、またピン側の摩擦面は局部的な熱点移動はあるにしろ、常時摩擦熱を受けているため、表面層で硬化しているのは再焼入れ効果によるものでなく、摩擦力による応力硬化現象によるものとした方が妥当である。また硬さ分布曲線で極小値を有するのは次のような理由によるものである。すなわち供試材は焼入れによりマルテンサイト相を有し、高い硬さを保持しているが、摩擦熱により摩擦面から内部に向つて温度勾配を形成し、その温度勾配に応じてマルテンサイト相は分解して軟化する。常識的には摩擦面に近い程平均温度は高くなつているから、軟化の程度も大きいと思われる。またこの時、摩擦力による塑性流動が生じ応力硬化するが、摩擦面に近いほど硬化程度が大きい。これら両者の現象が重畳して、極小点を有す硬さ分布を形成したものと考えられよう。ただこの硬さ分布傾向は摩擦距離が短いときは見られず、摩擦面直下の硬さが最も低くなつている。

Fig. 8 に  $700^\circ\text{C}$  にて焼戻したピンの硬さ分布曲線の一部も併せて示してあるが、この場合は焼入れ材のように焼戻し効果はないから、内部で極小点を持つことはなく、もっぱら摩擦力による応力硬化現象のみ現われ、内部に向つて緩やかな減少傾向が現われている。ただこの時熱エネルギーによる回復を伴っているから厳密には応力硬化現象のみとは言えない。

つぎに、焼入れ材および焼戻し材について、変質層の深

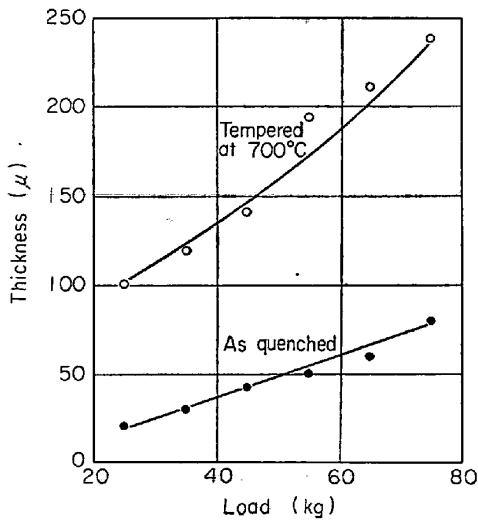


Fig. 9. Relation between the thickness of stress hardened layer and sliding load for quenched and tempered materials.

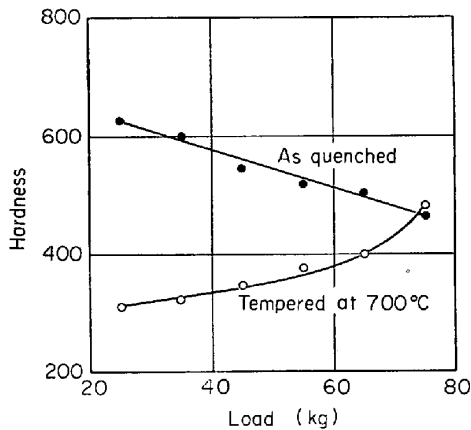


Fig. 10. Change of hardness just under sliding surface by increase of sliding load.

さと摩擦荷重との間にいかなる関係があるかを Fig. 9 に示す。ここで、焼入れ材の変質層深さは、摩擦熱による焼戻し効果と摩擦力による応力硬化が重畳すること、さらに焼戻し効果が深部までおよんでいること等のため、明確には測定できないが、便宜上 Fig. 8 の硬さ分布曲線における極小点までの深さとする。また焼戻し材については、硬さ分布曲線から、硬さを対数とする片対数曲線をとると、変質層部分と非影響部がほぼ直線で近似できるため、摩擦面からそれら直線の交点までの深さを変質層深さとする。Fig. 9 から明らかなように、焼入れ材、焼戻し材ともに変質層深さは摩擦荷重とともにほぼ直線的に増加しており、遷移荷重との関係はとくに顕著ではない。また 3.3 節で述べるように、焼入れ材の硬さの極小点は、顕微鏡組織的には組織流動層と、未分解マ

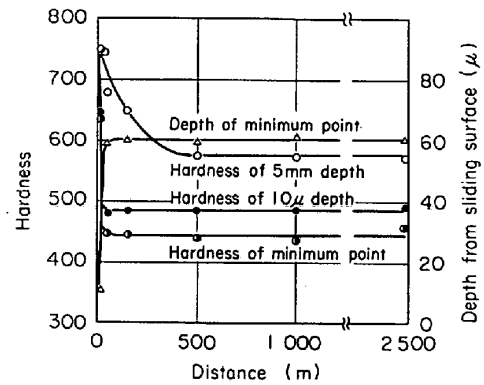


Fig. 11. Change of hardness to sliding distance for quenched materials, showing that the distribution of hardness in the vicinity of sliding surface comes to stationary state in the early stage of abrading. (Sliding load is 65 kg.)

ルテンサイト相が見られる領域のほぼ境界に位置することからみて、応力硬化は焼入れ材の場合は比較的浅く、焼戻し材の場合は深部までおよんでいるといえよう。これは研削による加工変質層にみられる結果<sup>8)</sup>と定性的に一致する。

つぎに摩擦面直下の硬さと摩擦荷重との関係を Fig. 10 に示す。ここで摩擦面直下の硬さとしたのは、摩擦面では凹凸が多く測定精度上問題があるため、摩擦面に垂直な断面において摩擦面から 10μ の深さの硬さ測定によるもので、摩擦面そのものの硬さは、経験的にはこの値より大きい場合が多い。

焼入れ材では摩擦荷重とともに直線的に減少しているが、焼戻し材では直線的ではないが逆に増加しており、摩擦荷重 75 kg では両者ともほぼ同一の硬さとなっていることは注目すべきである。これらの傾向について、焼戻し材では摩擦荷重が増大すれば、それだけ表面層が受ける塑性変形も大きくなるから、硬さもそれに応じて高くなることは容易に了解されよう。また焼入れ材では、摩擦荷重の増大によつて発生熱量が多くなり、摩擦面および内部の温度分布は相対的に上昇して、マルテンサイト相の分解による軟化の程度が、応力硬化の程度より大きかつたためと見るべきであろう。また摩擦荷重が比較的小さい 25 kg の場合でさえも硬さが 620 kg/mm<sup>2</sup> と低下しており、摩擦試験前の値より低い。したがつて本実験のように非潤滑方式で、冷却効果がきわめて少ないような条件では、焼入れ処理を行なつても摩擦荷重が大きいと、必ず表面層の軟化を伴うため、耐摩耗性の維持が期待できないことは 3.1 節で述べたとおりである。

つぎに摩擦距離と硬さとの関係を、焼入れ材で摩擦荷

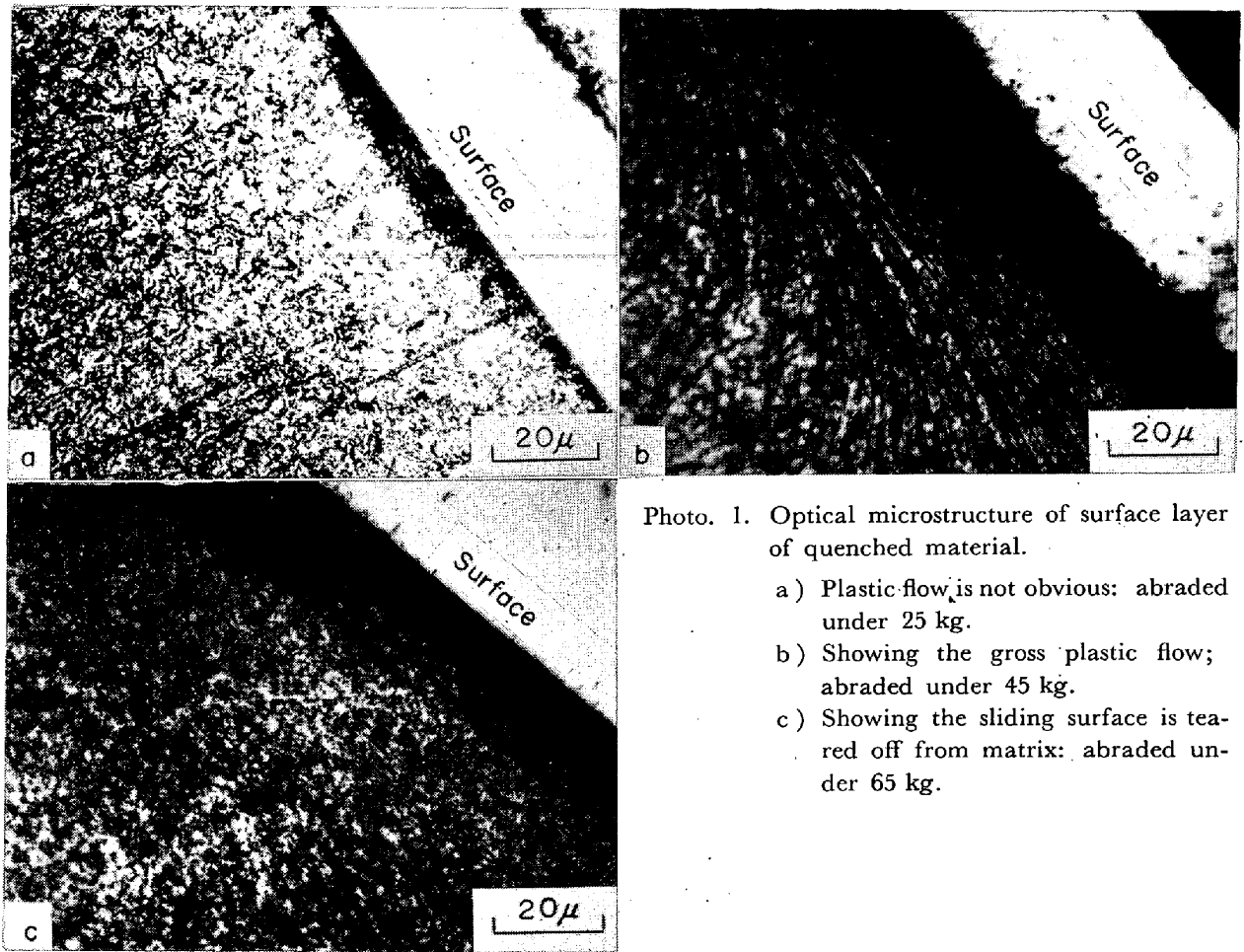


Photo. 1. Optical microstructure of surface layer of quenched material.

- a) Plastic flow is not obvious; abraded under 25 kg.
- b) Showing the gross plastic flow; abraded under 45 kg.
- c) Showing the sliding surface is teared off from matrix; abraded under 65 kg.

重 65 kg の場合を一例として Fig. 11 に示す。摩擦面直下の硬さは摩擦直後に急減し、50m 走行後にはほぼ一定値となつている。また硬さ分布曲線における極小値についても同様の傾向を示している。さらにこの極小点の位置は摩擦直後に急激に深部へ移動し、やはり 50m 走行後にはほぼ一定値となつている。これらの結果から、摩擦面近傍は、摩擦直後に急激な温度上昇を伴ない、摩擦面から比較的浅い位置における硬さは、短時間の内に定常化することがうかがえられる。一方、摩擦面から 5 mm の深さの硬さは、摩擦の進行とともに漸次減少するが、摩擦面近傍の硬さのように、摩擦直後に急変して定常化することはなく、500m 走行後、すなわち約 10 倍の走行後に定常状態に達する。この深さでの硬さ変化は摩耗現象とはあまり関係がないからよとしても、上述の結果は、何らかの要因により摩擦条件が苛酷になったときは、摩擦面近傍のマルテンサイト相は急速に分解し、軟化するため、きわめて摩擦摩耗条件が不利になることを示唆している。

3.3 変質層の顕微鏡組織観察

Photo. 1 に焼入材の場合について、摩擦方向に平行、摩擦面に垂直な面で試料を切断したときの摩擦面付近の

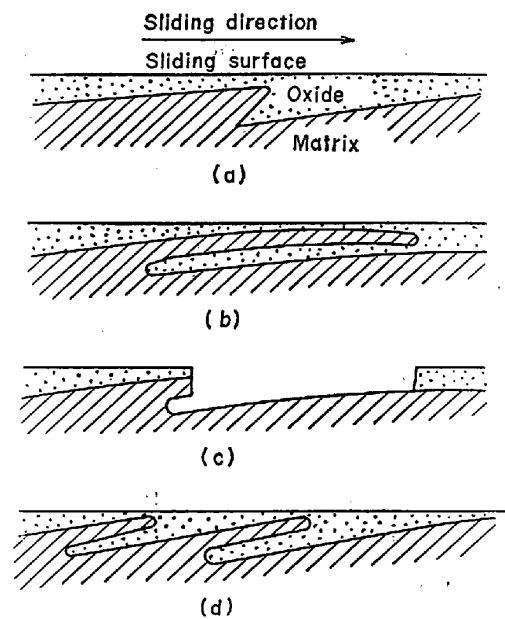


Fig. 12. Schematic representation of sliding surface under heavy sliding load.

光学顕微鏡写真を示す。

(a) は摩擦荷重 25 kg の場合で、顕著な組織変化、あるいは組織流動はみられない。その理由は摩擦熱が小

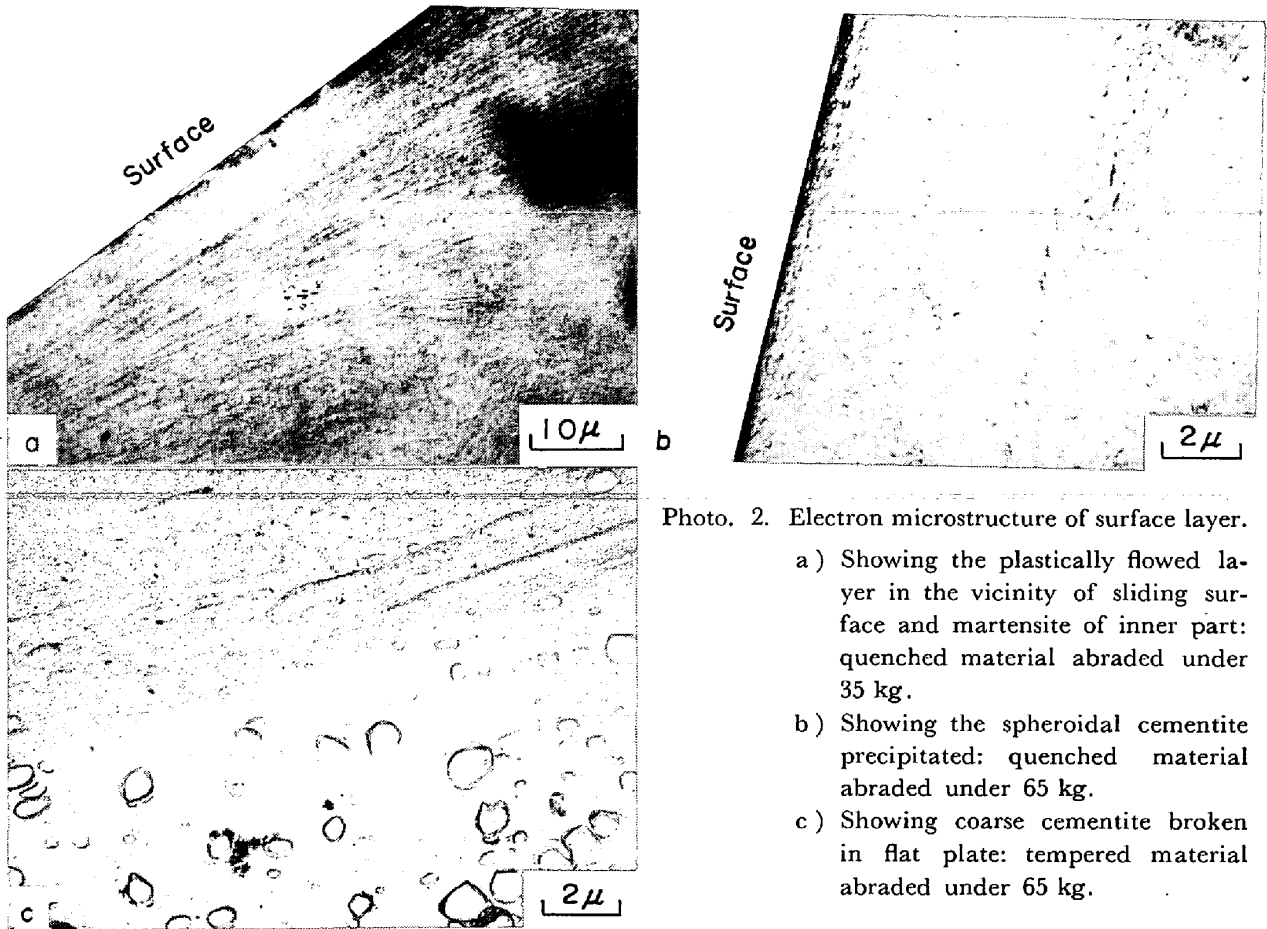


Photo. 2. Electron microstructure of surface layer.

- a) Showing the plastically flowed layer in the vicinity of sliding surface and martensite of inner part: quenched material abraded under 35 kg.
- b) Showing the spheroidal cementite precipitated: quenched material abraded under 65 kg.
- c) Showing coarse cementite broken in flat plate: tempered material abraded under 65 kg.

さく、地組織の軟化が生じにくかつたためと考えられる。摩擦荷重 45 kg では組織流動はかなり顕著に認められる。遷移荷重を越えて摩擦荷重が 65 kg になると、組織の流動は認められないが、摩擦面はいわゆる砂嘴状にせり出しているのが見られる。この現象は遷移荷重を越えた摩擦条件で、しかも走行距離が長いと摩擦面の随所に現われるが Fig. 12 にその生成過程の模式図を示す。(a)は局部的に半熔融状態になった部分が摩擦方向にせり出したところでそれが成長して(b)のようになる。ここで押し込められた部分には多量の酸化物が存在しているため、せり出した部分とその直下の地組織とが溶着するようなことはないであろう。このせり出した部分の強さは高くないため(c)のように引きちぎられて、再び表面には酸化膜ができ、(d)のごとく Photo. 1 に見られるような様相を呈し、再び同じ過程をたどるものと推察される。この現象はピン側で生ずること、および破断された薄片が相手リングに付着したままになる可能性もあるため、見かけ上リングの摩耗率がきわめて小さくなつたものと考えられる。これについてはすでに 3.1 節で述べたとおりである。

つぎに 2 段レプリカ法による変質層の電子顕微鏡写真

を Photo. 2 に示す。(a)は摩擦荷重 35 kg、焼入れ材の場合で摩擦面付近は顕著な組織流動が見られ、マルテンサイトの存在は明確ではない。しかし内部組織はまだ分解していないマルテンサイト相が見られる。摩擦荷重 35 kg の場合の硬さの極小点は摩擦面下約 30 μ 程度の深さに存在するが、この写真ではちょうど組織流動層がみられなくなり、未分解マルテンサイト相がみえはじめあたりに相当する。それゆえ、焼入れ材に見られる硬さ分布曲線の極小点は組織流動層と未分解マルテンサイト残留層の境界としてもよいであろう。つぎに摩擦荷重 75 kg では (b) に示すように、細かい球状セメンタイトが多数析出しており、組織流動は明確に認められない。ここで組織流動は摩擦面での接線力によつてもたらされるものであるが、この場合組織流動が生じなかつたのではなく、摩擦面近傍は半熔融軟化しているため、摩擦面のごく近傍だけで流動が生じ、摩擦係数が低いことから推察されたとおり、内部にまで強い影響がおよばなかつたことと、しかもわずかの組織流動層がつつぎつつぎに取り去られたためと了解される。ただ摩擦初期においては流動層が見られたことを付記しておく。

以上のような結果より、摩擦荷重が小さいときは変質

層の生成も生じがたく、耐摩耗性も高いが、摩擦荷重が大きくなつて組織流動が生ずるようなときは、かなり耐摩耗性が悪くなつてきているときであり、さらに極端になると摩擦面近傍は溶融軟化して、しかも地組織のマルテンサイト相が完全に分解するようなときは、焼入れによる耐摩耗性はほとんど失われているときであることが了解されよう。

つぎに焼戻し材の場合であるが、光学顕微鏡写真では組織の流動以外とくに顕著な変化が見られなかつたので省略することにし、電子顕微鏡写真の一例として摩擦荷重が 65 kg の場合を (c) に示す。粗大な球状セメントタイトがみえる部分は地の組織で、扁平につぶれた粗大セメントタイトと微細な析出物らしきものが混在している部分に変質層である。ここで変質層と地組織の境界がきわめて明確に現われる理由については本論では明らかとはならず、また変質層内にみられる微細な析出物にしても、それは粗大セメントタイトが加工応力によつて引伸ばされた後微細化したものか、あるいは  $A_{c1}$  変態点を越えたため、セメントタイトの一部が固溶し、再析出したものかは今後検討の余地があり、本論ではその機構についての推論は控えることにする。

### 3.4 予備摩擦の影響

焼入れ材では摩擦摩耗により少なからず組織変化を起こすことは今まで述べたとおりである。そこでこの組織変化が摩耗挙動にいかなる影響をおよぼすかを再度確認するため、あるいは実用的には一たび何らかの原因で摩擦条件が苛酷になり、組織変化を起こしたとき、その後の摩耗挙動にいかなる影響をもたらすかを知るため、あらかじめ予備摩擦試験を行ない、それを再び 25 kg~75 kg の摩擦荷重で摩擦試験を行なつて、予備摩擦を行わないときの摩耗量との比較をしたのが Fig. 13 である。この場合、予備摩擦荷重は 35 kg で、顕微鏡組織的には摩擦面近傍に強い組織流動層がみられ、地組織は幾分軟化している。予備摩擦距離は 2500m とし、予備摩擦後摩擦面の酸化物を取り除くために 50% 塩酸で 10 秒間洗浄し、その後本実験に供した。Fig. 13 において、縦軸の減少率は予備摩擦したときと、予備摩擦しないときの摩耗量から、 $(\text{非予備摩擦} - \text{予備摩擦}) / \text{非予備摩擦}$  の便宜上の式から求めたものである。ここで減少率が負の値となることは、予備摩擦により摩耗が増大することを意味する。

摩擦荷重 25 kg の場合は負の値となり、摩耗量はほぼ倍増し、明らかに悪影響をおよぼされていることがわかる。この摩擦荷重では、焼入組織のままであれば低温酸化摩耗状態を呈す摩擦条件で、摩耗量は少ないはずであ

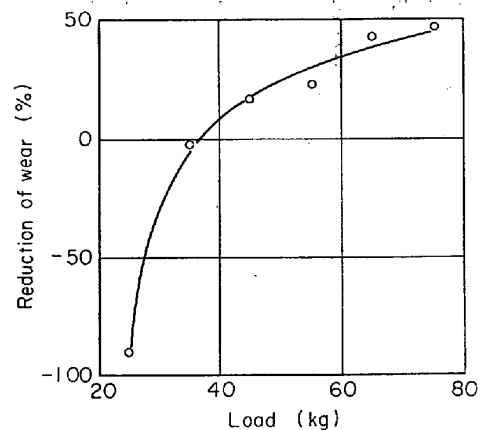


Fig. 13. Effect of pre-abrading on wear for quenched material, showing that the wear resistibility under slight sliding load is weakened by pre-abrading (pre-abrading load is 35 kg).

るが、予備摩擦による表面層の組織の軟化による影響が強く現われているといえよう。またこの結果から、効果的な低温酸化摩耗状態を維持するためには地組織が硬くなければならず、硬ければ 3.1 節で述べたように酸化物の脱落が生じがたくなるため、摩耗軽減のためには効果的であると言える。これは前報<sup>9)</sup>の考え方と定性的に一致する。摩擦荷重 35 kg では減少率はほぼ 0 となり、予備摩擦の影響は現われていないが、摩擦荷重が増大するに従い大きくなり、75 kg では 50% 程度の減少が見られる。ここで摩擦荷重 35 kg の場合において、予備摩擦の影響がないことについては摩擦摩耗実験の再現性の問題もあつて、何とも理由はつけがたいが、全体の傾向として、苛酷な摩擦条件下では予備摩擦による組織変化はあまり大きな影響がなく、わずかではあるがむしろ摩耗が軽減されるものと見てよいであろう。

本論の結果は乾燥摩擦摩耗状態におけるものであるから、潤滑状態では多少とも傾向は異なるであろうが、以上のような実験結果から見て常識的ではあるが、焼入れ処理によつて耐摩耗性を高めた材料は、高い摩擦熱を発生するような摩擦条件での使用を避けなければならないことを再度確認してもよいであろう。

## 4. 結 言

ピン—リング摩擦摩耗試験法により、S45C 炭素鋼の焼入れ材、および焼戻し材の乾燥摩擦摩耗による組織変化と摩耗挙動との関係について、硬さ測定、ならびに顕微鏡観察結果から検討し、以下のような結果を得た。

焼入れ材について、

1) 摩擦荷重の増大とともに摩擦面直下の硬さは減少



し、硬さ分布曲線の極小点はその値を減少しつつ深部に移動した。

2) 高摩擦荷重では摩擦熱により摩擦面近傍のマルテンサイト相は分解し、球状セメンタイトの析出が見られた。

3) 低摩擦荷重では耐摩耗性は良好であるが、高摩擦荷重では地組織の軟化のため、焼入れによる効果はきわめて劣化した。

4) 一度摩擦摩耗によつて地組織の軟化した材料を再び摩擦させると、高摩擦荷重では摩耗は減少したが、低摩擦荷重では逆に増大した。

以上のような結果は、焼入れによる硬化法は、常に摩擦条件が苛酷でないときのみ有効であることを示唆している。

最後に本研究に対して当時学生であつた杉森勝君の御協力をいただき、ここに深く感謝いたします。

#### 文 献

- 1) たとえば、水谷嘉之、中島耕一：日本金属学会誌，33 (1969)，p. 1202
- 2) 北川和夫、関 文男、上田益造：鉄と鋼，56 (1970) 9，p. 89
- 3) 相山正孝：金属材料の加熱と酸化，p. 57，[誠文堂新光社]
- 4) 川本 信、曾根 匠、岡林邦夫：日本金属学会誌，37 (1973)，p. 357
- 5) たとえば、高沢孝哉：精密機械，27 (1961)，p. 346
- 6) W. E. LITTMAN and J. WULFF: Trans. ASM., 47 (1959)，p. 692
- 7) 中島耕一、水谷嘉之、尾関哲康：日本金属学会誌，34 (1970)，p. 1221
- 8) 荒木田豊，日本機械学会論文集，28 (1962) 194，p. 1361
- 9) 北川和夫、関 文男、上田益造：鉄と鋼，58 (1972) 3，p. 92