

高速摩擦加工による鉄鋼材料の表面改質強化

大 島 聡 範*・林 忠 男**・徳 竹 義 仁***

Surface Hardening of Iron-Carbon Alloys by Utilizing High Speed Friction

Toshinori OHSHIMA, Tadao HAYASHI and Yoshihito TOKUTAKE

Abstract

A new surface hardening method for iron based alloy is proposed. It utilizes rapid heating with high speed friction followed by self quenching through thermal diffusion. Friction treatment is performed by pressing a rotating hard steel disc against fixed specimen under suitable load. Fine martensite structure is formed in the surface layer of the specimen. Small defects such as graphite in cast iron and pore in sintered steel are mashed and disappeared as a result of strong deformation caused by high speed friction. This simple method has an advantage of attaining both the surface hardening and the structure improvement simultaneously.

1. 緒 言

金属材料の摩耗損傷過程において形成される摩耗変質層は、摩擦熱による温度上昇のもとで、金属相互の摩擦にともなう微小塑性変形の累積によって形成される特異な組織である。この摩耗変質層においては組織の微細化と硬さの増加が認められ、とくに鉄鋼材料の高速摩擦過程においては、摩擦熱による急速加熱とその後の熱拡散による急冷にともなう、緻密な焼入れ硬化層が形成されることが知られている⁽¹⁾。そして従来この現象は、機械部品の摩耗損傷に関わるネガティブな事柄として、専らそれを防止しようという観点からのみ取扱われてきた。しかしながら、高速摩擦によって組織の微細化と焼入れ硬化が同時に達成されるという事実に注目するならば、これを表面改質強化法として利用し得る可能性があると考えられる。そこで本研究では、高速摩擦を利用した鉄鋼材料の表面改質強化について実験的検討を行った。

2. 実験方法

供試材は、炭素鋼 S 45 C, S 55 C, 合金鋼 SCM 435, 焼結鋼 14 EPC および 鋳鉄 FC 20 であり、炭素鋼および合金鋼は市販の熱間圧延丸棒材、焼結鋼は日立粉末冶金(株)より提供された、0.4% C - 1% Cu の角棒材である。これらの素材から機械加工によって 10×13×60mm の試験片を製作し、摩擦加工面は研削仕上を行って実験に供した。

高速摩擦加工は高速度で回転する鋼製の円盤を試験片の表面に押しつける方式で行った。実験装置の概略を Fig. 1 に示す。装置の本体は既製の万能工具研削盤を利用して、そのヘッド部に回転速度 20000 rpm の高速インターナルグラインダーを取り付け、グラインダの回転軸に直径 85mm 厚さ 6 mm の鋼製円盤を装着した。円盤の材質は合金工具鋼 SK 3 で、外周面は半径 3 mm のアールを付け、高周波焼入れによって深さ 3 mm の硬化層を与えている。摩擦加工は Fig. 2 のように、試験片を研削盤のテーブルに固定されたロードセル式荷重計に取り付けた小型パイプで保持し、約 10mm/s の速度で水平方向の送りを加えつつ、垂直方向の微動送りによって試験片を上昇させて回転円盤に押しつけて行った。ここで無負荷回転時の円盤の周速度は 89 m/s である。押しつけ荷重はロードセ

* 教授 機械工学科

** 技官 機械工学科

*** 北海道電力(株)

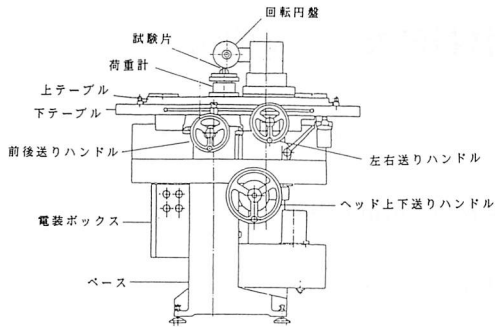


Fig. 1 高速摩擦加工装置の全体図

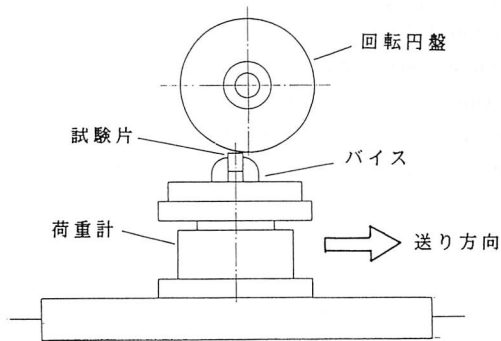


Fig. 2 高速摩擦加工装置の主要部

ルによって検出し、動ひずみ計からの出力をペンレコーダで記録した。また、加工中には円盤と試験片の接触部に研削液を供給して冷却を行った。

3. 実験結果および考察

Fig. 3 (a), (b)は高速摩擦加工を行った炭素鋼 S 45 C の表面附近の顕微鏡組織を示す。押しつけ力は $P = 32 \text{ N}$ である。表面はほぼ完全なマルテンサイト組織であり、内部に向うにつれてマルテンサイトとフェライトの共存組織へと移行している。これは、高速摩擦によって表面部が $A_1 \sim A_3$ 温度域に加熱されたのち、熱拡散によって急冷されたことを示すものである。(b)は(a)を拡大したものである。表面の完全マルテンサイトは、 A_3 変態点以上のオーステナイト域に加熱されたのち急冷されて生じたものである。内部に向ってマルテンサイトが減少しフェライトが増加しているのは、この領域では $A_1 \sim A_3$ 温度域に加熱され、 $(\text{Fe}_3\text{C} + \alpha) + \alpha \rightarrow \gamma + \alpha$ 変態によってパーライト部分がオーステナイト化したのち、急冷にともなう $\gamma + \alpha \rightarrow \alpha' + \alpha$ 変態によってマルテンサイト・フェライト組織となったことを示している。

Fig. 4 (a)は炭素鋼 S 55 C, (b)は SCM 435 の摩擦加工組織を示す。押しつけ力はいずれも 70 N であるが硬化深度は S 45 C に比べて大きくなっており、焼入れ性の増加によって硬化深度が増大したものと考えられる。表面の完全マルテンサイトから内部に向ってマルテンサイト・フェライトへと移行する組織変化は S 45 C の場合とほぼ同様であるが、フェライトのみでなくトルースタイトと思われる組織も混在している。

Fig. 5 (a)は炭素鋼 S 45 C, (b)は炭素鋼 S 55 C の摩擦加工材における加工方向に平行な断面の組織を示す。いずれも表面の組織が摩擦加工方向に塑性流動しており、マルテンサイトと共存するフェライトおよびトルースタイトが変形し微細化

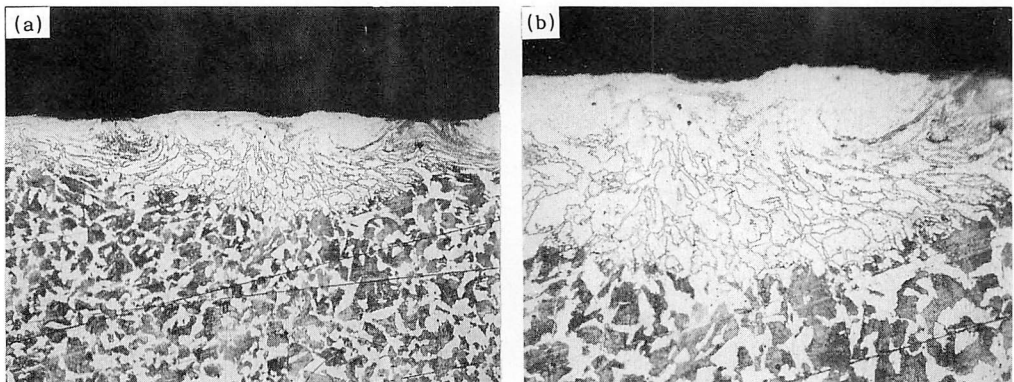


Fig. 3 S 45 C の高速摩擦加工組織（加工方向に垂直）

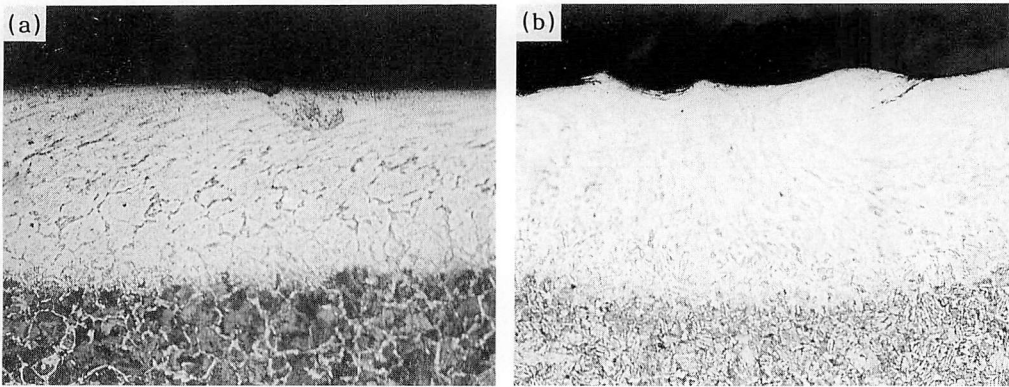


Fig. 4 (a) S55C (b) SCM の高速摩擦加工組織（加工方向に直角）

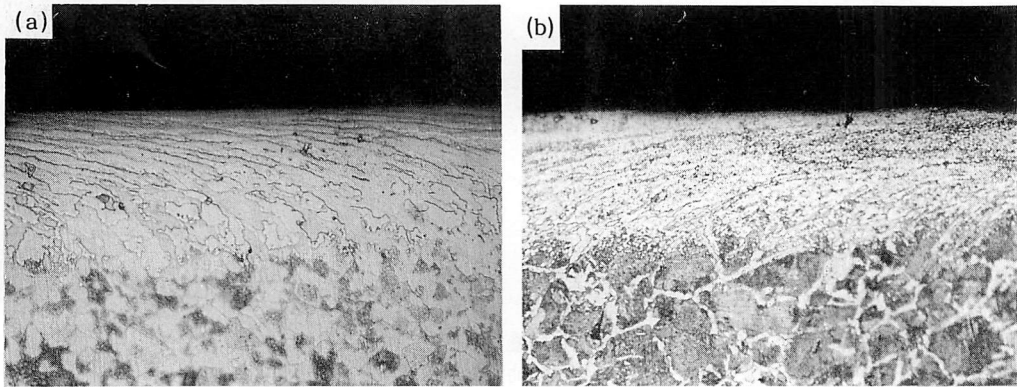


Fig. 5 (a) S45C (b) S55C の高速摩擦加工組織（加工方向に平行）

している。このことは、これらの組織が摩擦加工によって変形し微細化したオーステナイトから変態析出して形成されたことを示すものである。したがって、ここで形成されるマルテンサイトは緻密であり優れた特性を示すことが予測される。

Fig. 6 は摩擦加工における押しつけ力 P と硬化層深さの関係を示す。押しつけ力 P の増加に伴って硬化層の深さは増大しているが、 P が 50 N を越えると増加の傾向はゆるやかになる。

Fig. 7 (a), (b) および (c) は焼結鋼 14 EPC の高速摩擦加工組織である。(a), (b) は焼結鋼に特有の気孔欠陥の形態を明確に現わすために無腐食である。(a) は加工前の状態で、全面に多数の欠陥が存在している。これに対して (b) は加工後の状態で、表面附近の欠陥はほとんど完全に消滅している。すなわち、高速摩擦加工にともなう急激な塑性変形によって欠陥が圧着されて消滅したことを示すものである。(c) は (b) と同様に加工後であるが、腐食して組織を現出させている。表面にはマルテンサイ

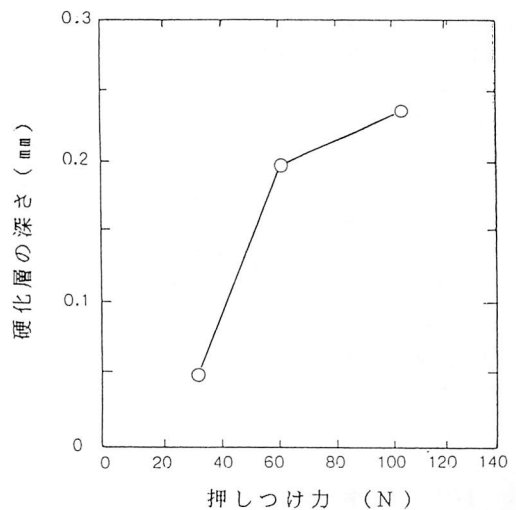


Fig. 6 高速摩擦加工における押しつけ力と硬化層深さの関係

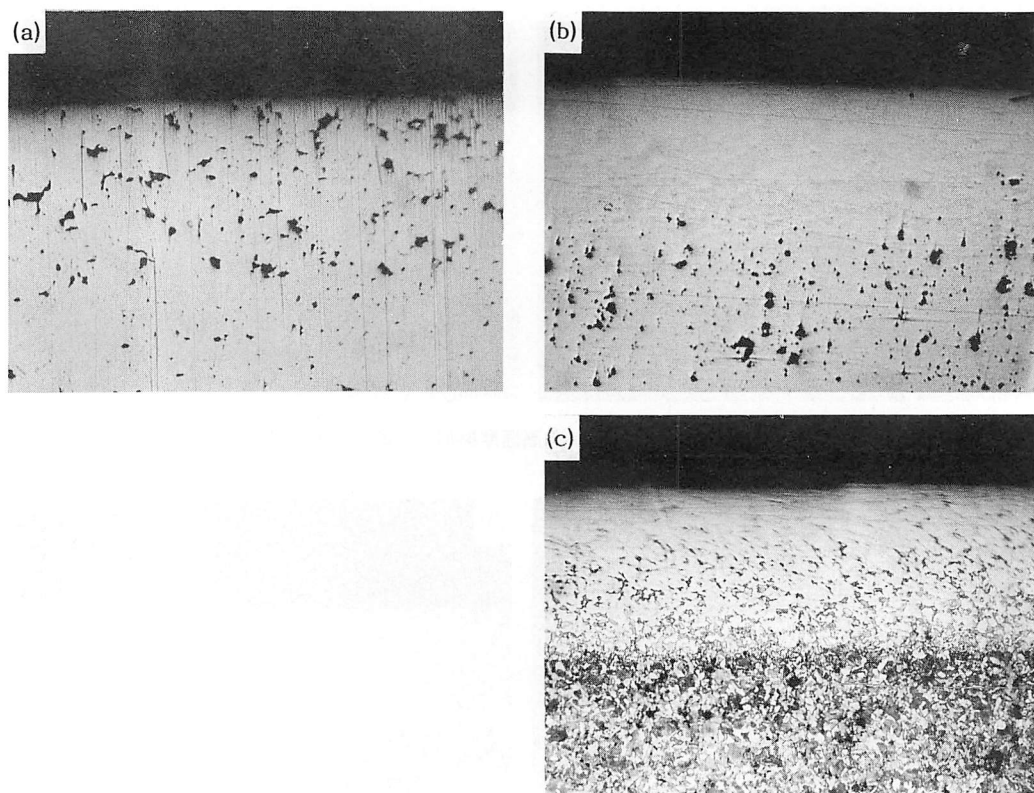


Fig. 7 焼結鋼の高速摩擦加工組織
(a)加工前（無腐食） (b)加工後（無腐食） (c)加工後（腐食）

ト組織の硬化層が形成されているが、この硬化層内には欠陥は全く存在せず、また組織も非常に微細化していることがわかる。

Fig. 8 (a), (b)は铸铁 FC 20の高速摩擦加工組織を示す。加工前の(a)ではパーライト組織の中に大小さまざまな片状黒鉛が存在し、表面と交切しているものも多い。しかし加工後の(b)では表面に白色のマルテンサイト組織の硬化層が形成され、とくにこの硬化層内では小さな黒鉛はほとんど消滅して存在せず、大きな黒鉛も表面と交切しているものは極めて少ない。これは、高速摩擦加工にとまう塑性変形によって、表面附近の小さな黒鉛は分断破砕されて消滅し、また大きな黒鉛もマトリックスとともに加工方向に変形し、表面と交切していた部分が分断破砕されて消滅したことを示している。

铸铁や焼結鋼のように、黒鉛や気孔などの欠陥を内在する材料では、表面焼入れによって表面に硬化層を形成した場合、硬化層内に欠陥がそのままの状態が存在するので、これらの欠陥が応力集

中源として作用し、き裂の発生点となりやすい。しかし高速摩擦加工によればこれらの欠陥を圧着して消滅させ、同時に組織を微細化して緻密な焼入れ硬化層を形成するので、き裂の発生に対する抵抗性は著しく増大すると考えられる。したがって高速摩擦加工は、とくに、欠陥を内在する材料の表面硬化法として効果的であると期待される。

Fig. 9は高速摩擦加工した各試験片の表面から内部へのビッカース硬さの変化を示す。いずれの場合も表面から約0.2～0.3mmの深さの硬化層が得られているが、硬さの変化の傾向はそれぞれ異なっている。SCM 435の最高硬さはほぼその炭素量0.35%に見あったものであるが、S 45 Cの最高硬さはその炭素量0.45%から期待される値には達していない。これは両者の焼入れ性の相違によるものと考えられ、高速摩擦加工における最高硬さおよび硬化層の深さは、焼入れ性によって左右されることを示している。また、焼結鋼では内部の原組織の硬さが低いにもかかわらず、表面の最高硬さはその炭素量0.4%に見あった値となっ

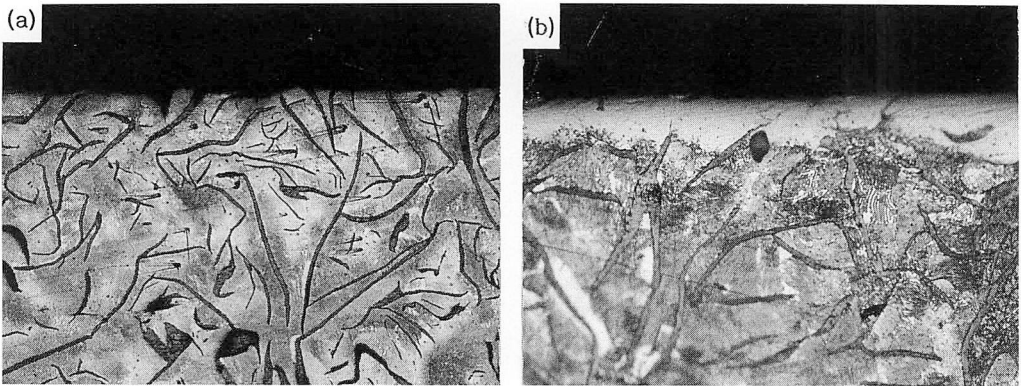


Fig. 8 鋳鉄の高速摩擦加工組織
(a)加工前 (b)加工後

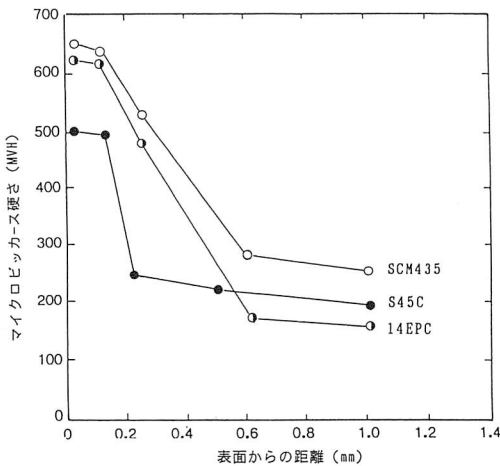


Fig. 9 高速摩擦加工における表面から内部への硬さの変化

ている。これは内部では欠陥の存在によって硬さが低下しているが、表面硬化層では欠陥の圧着消滅によって硬さが回復していることを示すものである。

4. 結 言

炭素鋼，合金鋼，焼結鋼および鋳鉄を対象として，試験片に回転円盤を押しつける形式で高速摩擦加工を行い，表面改質強化法としての可能性を検討した結果は次のように要約される。

- (1) 高速摩擦加工によって鉄鋼材料の表面に焼入れ硬化層を形成することができる。その深さは材料の焼入れ性および押しつけ荷重の増加とともに増大する。
- (2) 高速摩擦加工にともなう塑性変形によって，表面附近の組織は著しく微細化し，微小欠陥は圧着されて消滅する。
- (3) 高速摩擦加工の適応材料は，比較的焼入れ性の良い中高炭素鋼，合金鋼であり，とくに微小欠陥を内在する鋳鉄や焼結鋼に対しては効果的である。
- (4) 高速摩擦加工は原理がシンプルであり，特別な装置を必要としないことから，他の表面焼入れ硬化法と比較して低コストの表面改質硬化技術として期待できる。

文 献

- (1) G. Stähli, Härterei Technische Mitteilungen vol. 29, No. 2 (1974), 57

(平成6年11月30日受理)

