

高速摩擦加工による鉄鋼材料の疲労強度の向上

桑原 克典*・林 忠夫**・大島 聰範***

Improvement in Fatigue Strength of Iron-Carbon Alloys by means of High Speed Rubbing

Katsunori KUWAHARA, Tadao HAYASHI and Toshinori OSHIMA

Abstract

The fatigue properties of several steels performed by high speed rubbing have been investigated by mean of microscopic examination, hardness test and rotating-bending fatigue test. In the worked layer, quench-hardened phase consisting of fine martensitic matrix is formed, whereas graphite and defects are disappeared. As a result the fatigue strength increase in the rubbed steels.

Key word: high speed rubbing, surface hardening, fatigue strength

1. 緒 言

表面硬化法としては一般に表面焼入れ、浸炭及び窒化などの熱処理による方法が用いられており、鉄鋼材料で表面に最大応力が生じる曲げやねじりの場合に極めて有効である。しかし、表面欠陥等が存在する材料にこれらの硬化法を用いると延性が低下するため、応力集中源となる欠陥から亀裂が発生し、疲労強度の低下が問題となる。そこで考えられたのが高速摩擦加工による、金属材料の表面改質硬化の方法である。

金属材料の摩耗損傷過程において発生する摩耗変質層は特異な組織であり、鉄鋼材料では表面に焼入れ硬化層が形成されることが知られている¹⁾。著者らは、この現象を利用した鉄鋼材料の表面改質硬化の一つの事例として実験的な検討を行った。この結果、高速摩擦加工により表面に焼入れ硬化層が形成されることから、組織の微細化及び硬さの増加が生じ、特に、微小欠陥が存在する材料等に対しては有利となることを明らかにした²⁾。

本稿では各種の鉄鋼材料に高速摩擦加工を実施し、組織観察、硬さ、表面粗さ及び回転曲げ疲労試験による疲労強度の向上について検討を行った。

2. 実験方法

実験に使用した材料は鑄鉄 (FC200) , 焼結鋼 (社内規格14EPC・18EPC, 密度7.0g/cm³) , 炭素鋼 (S55C) 及び合金鋼 (SCM435) である。表1にその供試材の化学成分を示す。なお、焼結鋼は日立粉末冶金(株)より提供された15×15×90mmの角棒材, 他は市販の丸棒材で、鑄鉄はデンスバー(連鑄棒)を使用した。これらの材料を用いて、旋削によって図1(a), (b)に示す形状及び寸法の回転曲げ疲労試験片を製作した。

表1 供試材の化学成分 (wt%)

	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ti	S	P
FC200	2.9 ~3.8	1.8 ~3.4	0.1 ~1.0	-	-	0.1 ~0.3	-	-
S55C	0.52 ~0.58	0.15 ~0.35	0.60 ~0.90	-	-	-	0.030 以下	-
SCM435	0.33 ~0.38	0.15 ~0.35	0.60 ~0.85	0.90 ~1.20	0.15 ~0.30	-	0.030 以下	-

	C	Fe
14EPC	0.4 ~0.7	残
18EPC	0.7 ~1.0	残

高速摩擦加工は前報²⁾の万能工具研削盤による方法ではなく、疲労試験片の形状が丸棒状のため旋盤を使用して行った。加工装置の主要部を図2に示す。図に示すように自由に回転することがで

*技 官 機械工学科
**技 官 (技術専門職員) 機械実習工場
***名誉教授 苫小牧高専

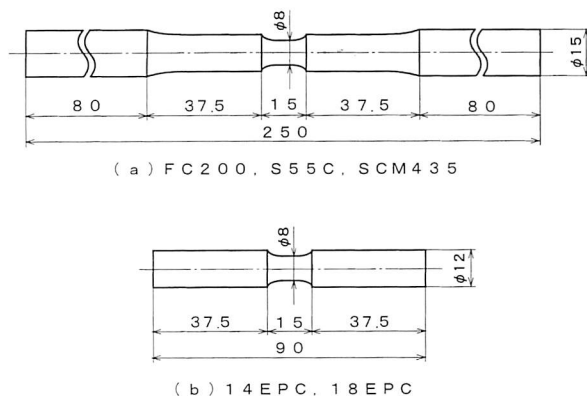


図1 疲労試験片の形状及び寸法

きる刃物台(スラストベアリング使用)にインターナलगラインダを取付け、170rpmで回転している試験片に高速回転(20000rpm)の円盤を押付け(押付け力 $P=100\text{N}$)、同時に約 1mm/s の速度で水平方向(矢印)に送りながら摩擦加工を行った。なお、加工荷重の負荷は重錘にてこ方式により行った。疲労試験には小野式回転曲げ疲労試験機($98\text{N}\cdot\text{m}$ 、回転数1440, 2850rpm)を使用した。硬さは微小硬さ試験機(マイクロビッカース)、表面粗さは万能表面形状測定器で測定した。組織観察は加工した試料を油圧式手動埋込み機で透明樹脂に埋込み、ナイタルで腐食させて組織を現出させ金属顕微鏡で観察した。

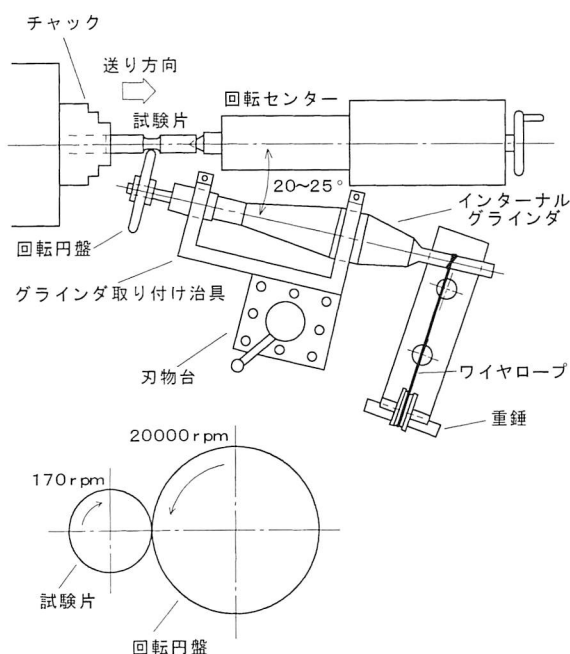


図2 加工装置の主要部

3. 実験結果及び考察

3.1 組織観察

図3 (a)と(b)は、それぞれ内部に欠陥のある鑄鉄(FC200)と焼結鋼(14EPC)であり、(c)と(d)はそれぞれ圧延材の炭素鋼(S55C)と合金鋼(SCM435)の高速摩擦加工後の組織の様子を示す。鑄鉄(a)は加工表面にマルテンサイト組織の硬化層が形成され、表面付近に存在していた片状黒鉛は変形して減少している。焼結鋼(b)の未加工材には気孔欠陥が存在していたが、摩擦加工に伴う塑性変形によって表面付近の気孔欠陥が圧着されて消滅している。炭素鋼(c)の表面は摩擦方向に変形した微細で緻密なマルテンサイト組織であり、内部へ行くにしたがってマルテンサイトからトランスタイト組織へと変化している。合金鋼(d)についても炭素鋼と同様な傾向が見られる。このように、高速摩擦加工にともなう急熱、急冷及び塑性変形によって、黒鉛や気孔欠陥を含む鑄鉄及び焼結鋼は、応力の集中する欠陥等が消滅する。また、圧延材は緻密なマルテンサイト組織となり、表面に焼入れ硬化層が形成されるため、摩擦加工によるより高い疲労強度の増加が期待できる。

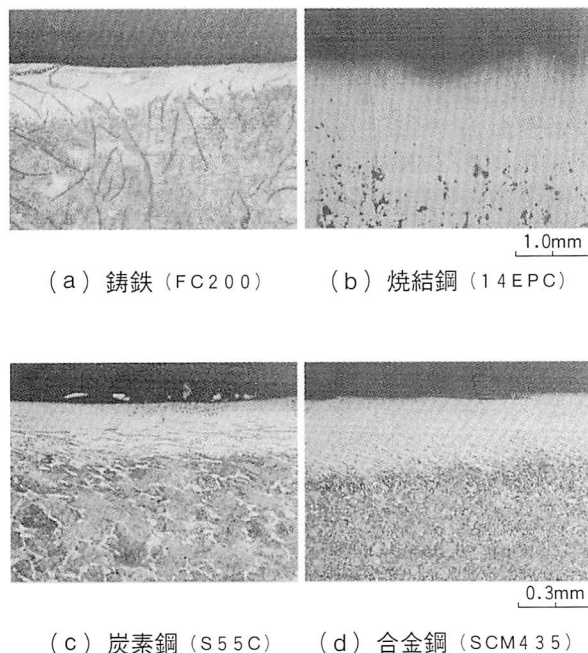


図3 高速摩擦加工後の組織変化

3.2 硬さ試験

図4に高速摩擦加工による各供試材の表面から内部にかけてのビッカース硬さ(HV)の変化を

示す。各材料では、表面から約0.1～0.15mmの深さまで摩擦加工によって高い硬さを示している。最高硬さはそれぞれ鑄鉄HV798、焼結鋼HV833、炭素鋼HV900、合金鋼HV805である。これは、表面に焼入れ硬化層が形成されて、更に欠陥が圧着、消滅したことによるものである。

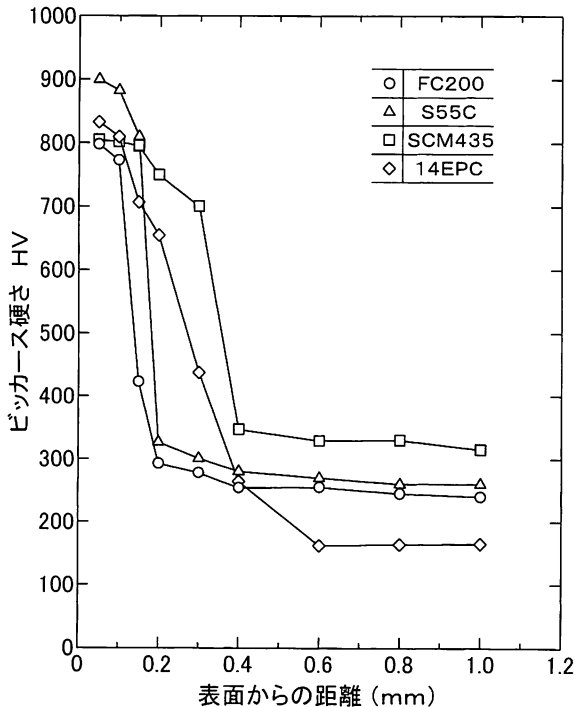


図4 高速摩擦加工後の表面からの硬さの変化

3. 3 疲労強度

図5に鑄鉄(FC200)と焼結鋼(14・18EPC)、図6に炭素鋼(S55C)と合金鋼(SCM435)の未加工及び高速摩擦加工材の回転曲げ疲労試験におけるS-N線図を示す。図5・6より各供試材とも高速摩擦加工によって疲労強度が増加していることがわかる³⁾⁴⁾。図6の炭素鋼、合金鋼の摩擦加工材は未加工材と比較して疲労限度が約2倍上昇している。また、摩擦加工材は傾きが大きくなっているが、これは加工材の表面硬さが高いので附加応力が高く、発生した亀裂の進展速度が大きいことによるものと考えられる。高速摩擦加工により各供試材の疲労限度は、鑄鉄で約30MPa、焼結鋼で約50MPa、75MPa及び炭素鋼、合金鋼では約200MPaそれぞれ増加した。このことは組織観察、硬さのところで述べたように、加工表面層における微細で緻密な焼入れ硬化層の形成と応力が集中する黒鉛の変形、気孔欠陥が圧着し消滅したことによるものと考えられる。

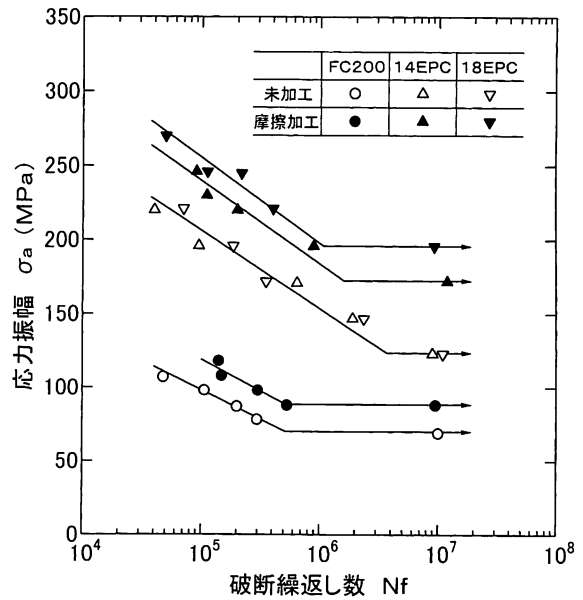


図5 鑄鉄、焼結鋼の未加工及び高速摩擦加工材のS-N線図

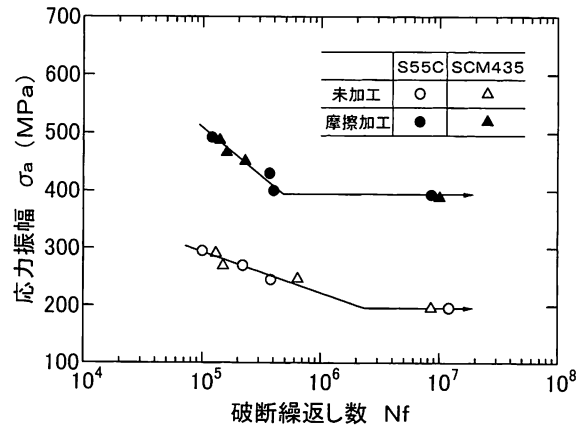


図6 炭素鋼、合金鋼の未加工及び高速摩擦加工材のS-N線図

次に、加工前の材料表面の粗さが疲労強度にどのような影響を与えるかについて未加工材の表面粗さの最大高さRyが約8μmと約35μmについて比較検討した。図7に表面粗さの違いによる炭素鋼と合金鋼のS-N線図を示す。図よりRyが35μmのとき、炭素鋼のデータはばらつきが大きく、合金鋼の疲労強度はやや低下しているが、S-N線図では全体としてほぼ同じ傾向を示している。このことから加工前の表面仕上げはある程度粗くても良いと考えられる。

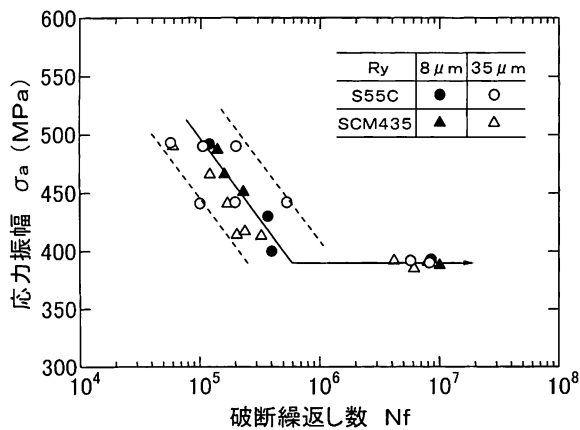
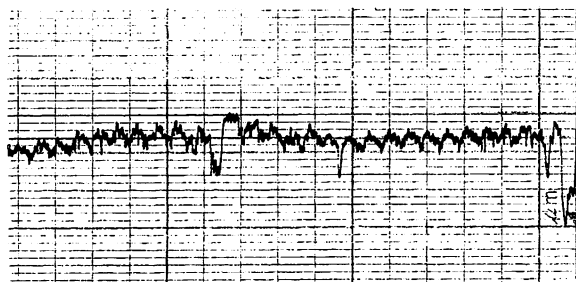


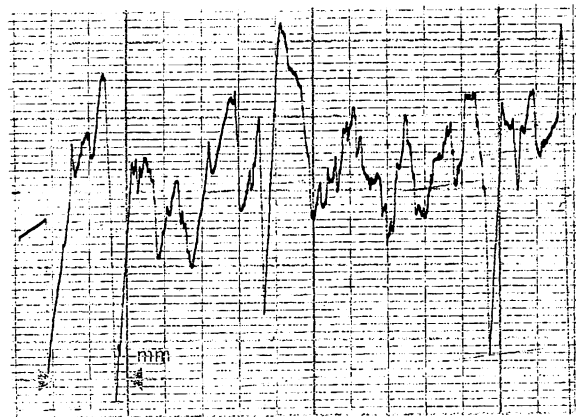
図7 加工前の表面粗さの違いによるS-N線図

3. 4 表面粗さ

図8に未加工材と高速摩擦加工材の表面粗さの測定結果を示す．未加工材の最大高さは $Ry \approx 8 \mu m$ ，高速摩擦加工材は $Ry \approx 47 \mu m$ である．このように高速摩擦加工材の表面の凹凸が鋭く非常に粗いにもかかわらず，疲労強度は未加工材よりも著しく向上している．これは通常の焼入れに比べて摩擦加工材のマルテンサイト組織の方がより微細で緻密であることによるものと考えられる．



(a) 未加工材



(b) 高速摩擦加工材

図8 表面粗さの測定結果

4. 結 言

各種の鉄鋼材料を対象に高速摩擦加工を行い，組織観察，硬さ及び疲労強度の向上等について，次の結果を得た．

- (1) 高速摩擦加工により表面付近の硬さが増加して，疲労強度は鋳鉄で約30MPa，焼結鋼で約50MPa，約75MPa及び炭素鋼，合金鋼では約200MPaが増加した．
- (2) 組織観察から加工表面層に微細で緻密なマルテンサイト組織及び黒鉛，欠陥が消滅して焼入れ硬化層が形成された．
- (3) 摩擦加工後の表面粗さが粗いにもかかわらず疲労強度は向上する．また，摩擦加工前の表面仕上げはある程度粗くても良い．

以上，高速摩擦加工は原理，方法が簡単であり低コストの材料の表面改質技術として有望であると考えられる．

謝 辞

実験に使用した焼結鋼は，日立粉末冶金㈱のご厚意により提供されたものであり，深く感謝の意を表します．なお，本研究を卒業研究の一部として実験に協力された第27期伊藤仁浩，第28期辻 智喜，岩本 裕，第29期伊藤英男，石栗憲明の各氏に深く感謝します．また，本稿をまとめるにあたり機械工学科高澤幸治助手にご指導，ご助言いただいたことを記し感謝申し上げます．

参考文献

- 1) G. Stähli, Härteri Technische Mitteilungen vol.29.No.2(1974)57
- 2) 大島聰範，林 忠男，徳竹義仁：高速摩擦加工による鉄鋼材料の表面改質強化，苫小牧高専紀要，第30号(1995) p.1
- 3) 財総合鋳物センター：焼結金属材料の疲労特性調査研究報告書(1983)
- 4) 日本機械学会：金属材料疲労強度の設計資料 (I) 1996

(平成14年11月27日受理)