

疲労試験中に発生する組織変化の差異と その依存性について

関 川 三 男

1. 緒 言

疲労による crack の形成に関して Wood⁽¹⁾ はくり返し応力を受ける材料内のすべり系が crack 形成に重要な役割を演じかつ crack の伝播は jumping mechanism に依存することをのべた。また Hempel⁽²⁾ 等は単結晶と多結晶材におけるすべり発生と疲労 crack の伝播進路は異った方向性の結晶内における単一および複合すべり過程により定まることを見出した。横堀⁽³⁾ は疲労 crack の発生を説明するための統一理論を提案した、この理論は材料強度学に基礎づけられかつ crack 発生が材料内に含まれた介在物や炭化物による転位の固定に起因する応力集中によりひき起されかつまたそれ等自身による切欠効果による応力集中によりひき起されるという基本的概念を有している。また crack の伝播に密接に関係する破断面の様相は多くの研究者⁽⁴⁾ により調査されてきた。そこで筆者は炭素鋼の各種疲労試験中に発生する組織変化についての観察結果をのべ試験片の表面組織変化と破断面の組織写真は疲労試験の方法に依存することを強調する。

2. 実 験

2-1 試験片

使用した試験片は表 1 に示した化学成分の炭素鋼で直径 8 mm の Schenk 式ねじり疲労試験機用の寸法と形状に素材を機械加工することにより準備した。また表 1 に示す条件で真空

Table 1. The kinds of Fatigue Tests, the Chemical Compositions of Materials and the Conditions of Annealing.

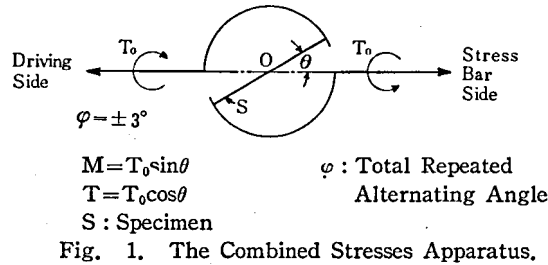
kinds of Test	C $\times 10^{-2}$	Si $\times 10^{-2}$	Mn $\times 10^{-2}$	P $\times 10^{-3}$	S $\times 10^{-3}$	Cu $\times 10^{-2}$	Ni $\times 10^{-3}$	Cr $\times 10^{-3}$	Ferrite Grain Size	Heat Treatment (1hr)
Repeated Alternating Torsion $\theta=0^\circ$	31	24	65	20	20	8	10	34	No. 8	860°C
Under Combined Stresses $\theta=45^\circ$	31	24	65	20	20	8	10	34	No. 8	860°C
Repeated Alternating Bending $\theta=90^\circ$	31	24	65	20	20	8	10	34	No. 8	860°C

焼なましを行い研磨后腐蝕により試験片の結晶粒状態を確認し ferrite 結晶粒度を表1に示した。表中の θ は図1に示した角度を意味する。

2-2 疲労試験

本実験はつぎの3種の疲労試験である。

- (1) くり返しねじり試験。 (2) くり返し曲げ試験。 (3) くり返し組合せ応力下の試験。
いづれも3000 r. p. m で行い、定くり返しねじれ角の大きさは $\pm 3^\circ$ で実施した。



2-3 表面組織の変化と破面の様相との観察法

観察は電子顕微鏡と2段レプリカ法で実施した。

3. 結 果

写真1 はくり返し定ねじり角 $\pm 3^\circ$ のくり返しねじり疲労試験 ($\theta = 0^\circ$) 中に発生する組織変化を示す一例であり組合せ応力下 ($\theta = 45^\circ$) の過程に生じた変化は写真2 に示され曲げ応力下 ($\theta = 90^\circ$) の疲労課程で生じた組織変化を証明するために写真3 が提示される。最後にすべての疲労試験により生じたそれぞれの破断面の様相間の差異が写真4 である。

4. 考 察

写真1の観察からすべての組織変化の発生は多結晶材料内の異った方向性に起因する複合すべり系にことごとく支配されることが確認される。従って炭素鋼のくり返しねじり疲労過程においては fine slip, slip band, intrusion, intrusion交差および crack のような表面組織変化の発生は炭素鋼材内に含まれる ferrite 相の複合方向性に限定されさらに pearlite patche や介在物の存在に起因して生ずるすべり痕跡は疲労 crack の発生や伝播に関して重要な役割を演じない。

写真3の調査からくり返し曲げ疲労試験の場合には材料に含まれる pearlite patche または介在物がそれぞれ組織変化の発生において重要な役割を演じていることが確認される。

組合せ応力下 ($\theta = 45^\circ$) の疲労過程で得た写真2からはすべり痕跡の発生が ferrite 相内の複合すべり系と pearlite patche の存在との両方に依存していることが見出される。

上述の各種疲労試験によって生じた破断面様相間の差異はつぎのようである。

くり返しねじり疲労試験の場合には tire tracks が観察されず、この場合破面様相はくり返し曲げと全く異っている。然し組合せ応力下の疲労試験による破断面では少数の tire tracks が観察される。それ故筆者は疲労 crack の発生は試験片に加えられるくり返し応力の種類に影響を受けさらに crack の伝播は複合すべり系に支配されると考える。

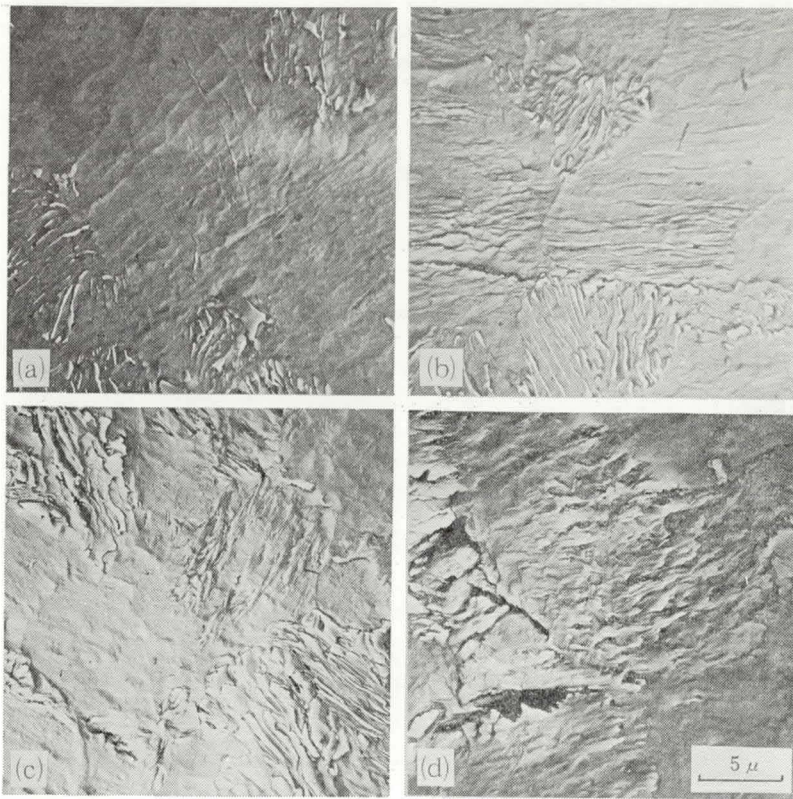


Photo. 1. Surface structural changes take place during the repeated alternating torsional fatigue test ($\theta=0^\circ$) of the 0.31% carbon steel under the total repeated angle $\pm 3^\circ$.

(a) and (b) show the slip bands caused on the surface of ferrite phase, at 5×10^2 and 4×10^3 cycles. (c) shows the surface disturbance caused by crossing of the slip traces, at 5×10^4 cycles. (d) shows the intrusions, reserved on the ferrite phase surfaces in the vicinity of the fracture line, at 2×10^5 cycles.

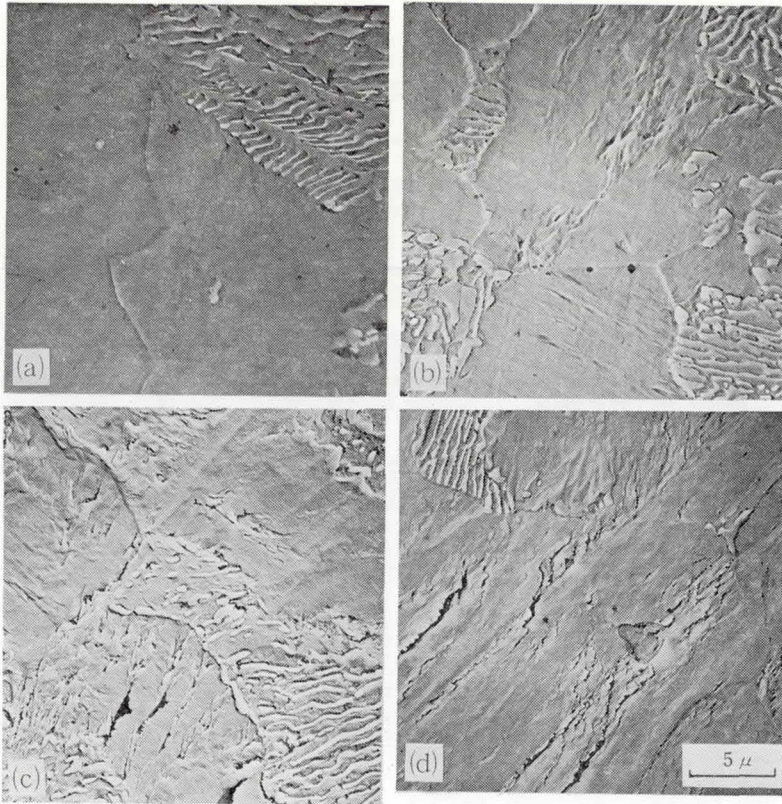


Photo. 2. Surface structural changes caused during the fatigue process under the combined stresses ($\theta=45^\circ$), in which the total repeated angle per cycle was $\pm 3^\circ$. (a) the occurrence of the slip traces at 5×10^2 cycles, these are affected by the existence of the patches. (b) the slip bands crossing affected by the patches and restricted by the multiple slip systems of the ferrite phases, at 4×10^3 cycles. (c) crossing of intrusions restricted by the patches and the multiple slip systems, at 5×10^4 cycles. (d) cracks caused in the vicinity of the patches and the courses of cracks restricted by the slip systems, at fracture, 8.4×10^4 cycles.

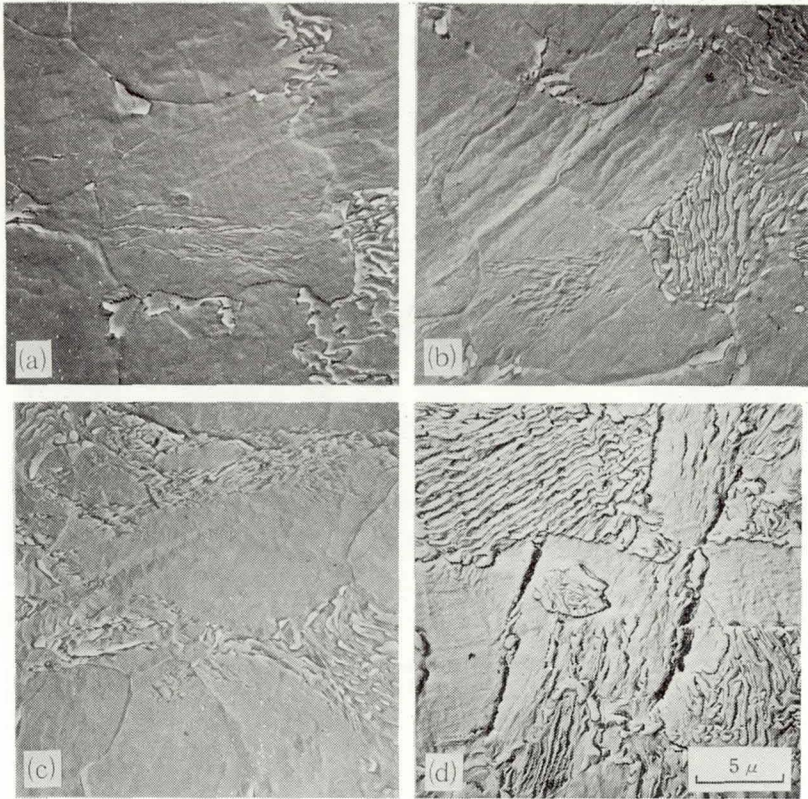


Photo. 3. Surface structural changes take place during the repeated alternating bending fatigue test of 0.31% carbon steel. In (a) at 3×10^3 cycles, the slip bands occurred in the vicinity of a patch, in the other photographs, (b) at 1×10^4 , (c) at 5×10^4 and (d) at the fracture of the specimen, 7.3×10^4 cycles, the slip traces and the cracks were caused by restricting of the patches.

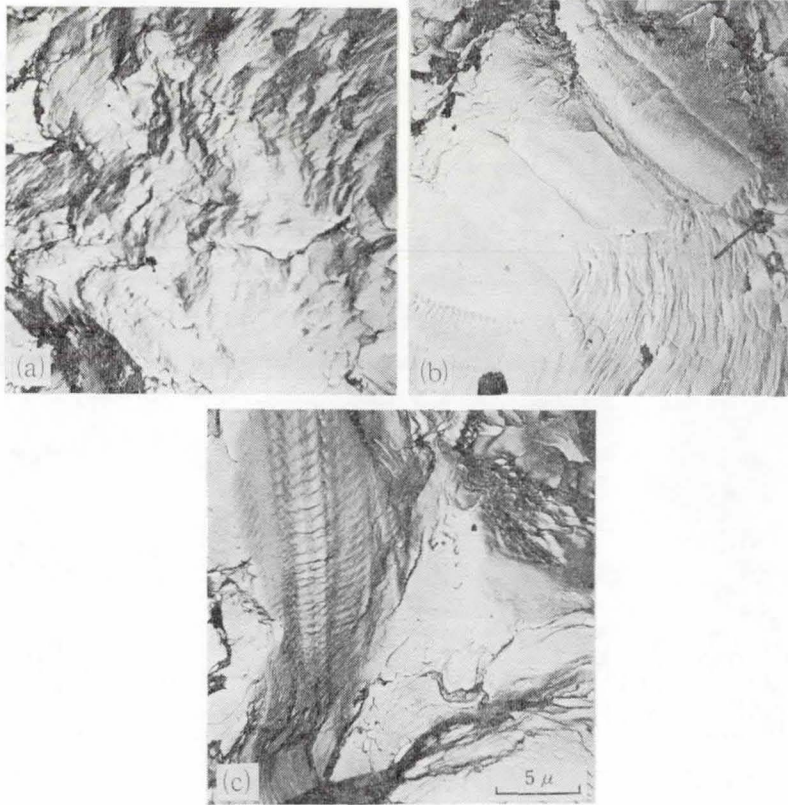


Photo. 4. The differences among the features of the fracture surfaces produced by the several kinds of fatigue tests. Photo. (a) are photographs of the fracture surface caused by the repeated alternating torsional test of 0.31% C steel under the repeated angle $\pm 3^\circ$ per cycle. (b) are fractographs of the fracture surface produced by the fatigue test under the combined stresses ($\theta = 45^\circ$). Photo. (c) are the fractographs of the fracture surface caused by the fatigue test of the repeated alternating bending stress.

5. 結 論

(1) 炭素鋼のくり返しねじり疲労試験の場合において表面組織の変化の発生と伝播は材料内の ferrite 相の複合方向性に一般的に限定されかつ試験片の破断面上において tire line は確認されない。

(2) 材料に含まれる pearlite patche または介在物はくり返し曲げ試験の場合に生じる各組織変化の発生に関して重要な役割を演じる。さらにそれら変化の伝播は材料の ferrite 相内の複合すべり系により決定される。そしてさらに多くの明確な striation 模様、たとえば tire line が破断面上で見出される。

(3) くり返し組合せ応力下の疲労試験において組織変化の発生は ferrite 相内の複合すべり系と pearlite patche の存在の双方に依存しさらに少数の tire line が試験片の破断面に生じる。

筆者は御指導をして頂いた防大、南沢 力 助教授に厚く感謝し御援助を受けた長野高専 芳賀 武 助手に感謝します。

参 考 文 献

- (1) W. A. Wood : 例えば Phil. Mag. **3**, 692 (1958)
- (2) F. Wever, M. Hempel und A. Schrader : 例えば Archiv Eisenhüttenw. **26**, 739 (1955)
- (3) 横堀武夫 : 例えば 機誌. **65**—523, 1076 (1962)
- (4) C. D. Beachem : 例えば Fracture, Vol. 1 ed. by H. Liebowitz 243 (Academic Press, New York and London 1968)