

3%NaCl 水溶液中における高 V-Cr-Ni 鋳鉄の疲労挙動

Fatigue Behaviour of High V-Cr-Ni Cast Irons in 3%NaCl Aqueous Solution

○戸梶恵郎 (岐阜大工) 堀江孝男 (岡本) 榎本裕也 (日立オムロンターミナルソリューションズ)

Keiro TOKAJI, Dept. of Mechanical and Systems Engineering, Gifu University, 1-1 Yanagido, Gifu 501-1193
Takao HORIE, Okamoto Co. Ltd.
Yuuya ENOMOTO, Hitachi-Omron Terminal Solutions, Corp.**Key Words:** Fatigue, High V-Cr-Ni cast iron, 3%NaCl solution, Corrosion pit, Crack initiation, Small crack growth

1. 緒 言

基地組織中に炭化物を分散させた高 V-Cr-Ni 鋳鉄は、高機能・構造材料として広範な応用が期待されている。しかし、これまで疲労特性は知られていなかった。そこで著者らは、平滑試験片の疲労挙動や CT 試験片を用いた疲労き裂進展特性を評価、検討し、室温大気中では比較的優れた疲労特性を有することを明らかにしてきた⁽¹⁾⁽⁴⁾。

高 V-Cr-Ni 鋳鉄は母地組織がオーステナイトであることから、優れた耐食性を示すことが指摘されており⁽⁵⁾、実用において腐食環境中の使用が考慮されている。その場合、静腐食特性はもとより腐食疲労特性がきわめて重要となるが、それに関する検討は全く行われていない。

そこで本研究では、4 種類の高 V-Cr-Ni 鋳鉄の平滑試験片を用いて、3%NaCl 水溶液中において回転曲げ疲労試験を行い、き裂発生、微小き裂成長および表面観察などに基づいて疲労挙動に及ぼす腐食環境の影響について検討する。

2. 材料および試験方法

2.1 供試材 用いた材料は、炭化物の量を制御するために C と V の添加量を変えた 4 種類の高 V-Cr-Ni 鋳鉄である。化学成分を表 1 に示す。表に示すように、以後 C と V の添加量に応じて材料を表記する。このうち N2C6.5V は VC 球状化処理を施した材料（以後、球状化材）であり、3C10V は前報⁽³⁾ で用いた 3C10V(2) に該当する。なお VC の球状化は、Ni-Mg 合金（組成(wt.%): Ni: 94.24, Mg: 5.7, Fe: bal.）の接種によって行われている。

図 1 に走査型電子顕微鏡 (SEM) による供試材の組織を示す。組織は無特徴なオーステナイト母地組織、(V, Cr) 炭化物と母地組織から成る層状組織、およびそれらの中に分散する VC から構成されている⁽⁴⁾。1C3.5V は母地組織を網目状に繋がった層状組織が取り囲む組織であり、母地組織の占める割合が大きい。また、VC はほとんど見られない。2C6.5V では層状組織の割合が増加しており、球状化処理を施していないが VC は粒状である。3C10V は母地組織と層状組織中に花弁状の VC が分散した組織である。球状化材の N2C6.5V では VC は球状であり、その組織は非球状化材の 2C6.5V と類似している。

2.2 試験片 疲労試験片は直径 6mm、平行部 6mm の平滑試験片である。加工後、平行部をエメリー紙で研磨したのち疲労試験に供した。

2.3 実験方法 疲労試験には容量 98Nm の小野式回転

曲げ疲労試験機を用い、繰返し速度 57 Hz で実験を行った。腐食環境は 3%NaCl 水溶液であり、リザーブタンクからポンプによって、試験片の平行部が常に溶液で浸されるように滴下、循環させて使用した。

表面におけるき裂発生および微小き裂成長挙動をレプリカ法により測定した。また実験後、破面を SEM により詳細に調査した。

3. 実験結果および考察

3.1 疲労強度 3%NaCl 水溶液中における S-N 曲線を大気中の結果とともに図 2 に示す。大気中の有限寿命領域では、実験結果は少ないがばらつきを考慮すると、3%NaCl 水溶液中の疲労強度はいずれの材料も大気中の結果とほぼ同程度と判断される。しかし、3%NaCl 水溶液中では大気中の

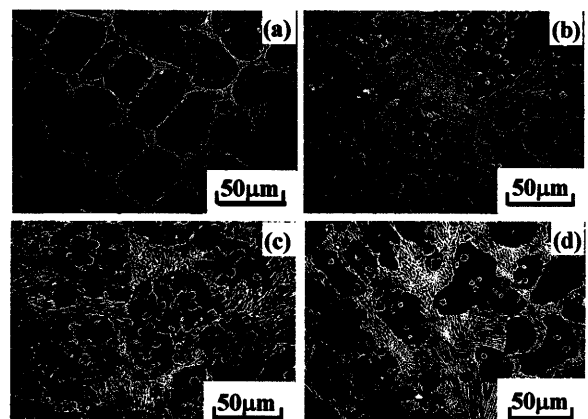


Fig.1 Microstructures of the materials: (a) 1C3.5V, (b) 2C6.5V, (c) 3C10V, (d) N2C6.5V.

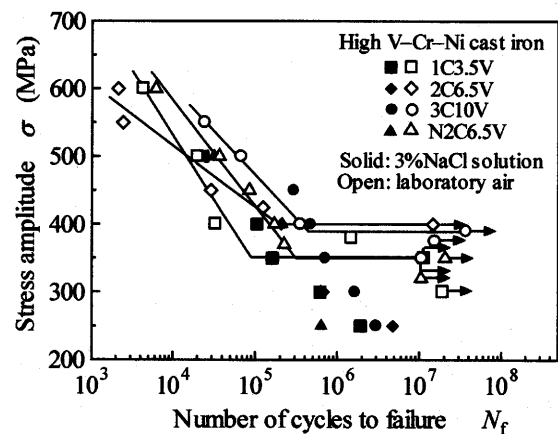


Fig.2 S-N diagram.

Table 1 Chemical compositions (wt.%) of the materials.

Material	C	Si	Mn	Ni	Cr	V
1C3.5V	1.21	0.95	0.54	7.79	17.36	3.64
2C6.5V	2.27	1.00	0.61	7.62	18.03	6.65
3C10V	3.09	0.77	0.48	7.80	17.39	9.71
N2C6.5V	2.02	0.92	0.71	7.60	18.38	6.37

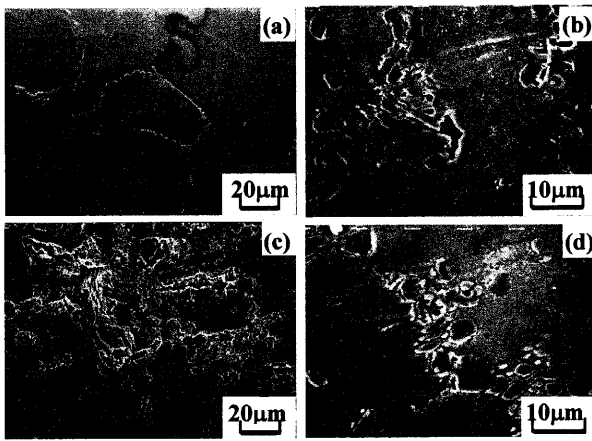


Fig.3 SEM micrographs showing corrosion pit generation:
(a) 1C3.5V, (b) 2C6.5V, (c) 3C10V, (d) N2C6.5V.

疲労限度以下でも破壊し、疲労強度は低下する。実験結果は大気中の有限寿命領域の $S-N$ 曲線を下方に延長した線上に位置し、実験の範囲内では他の材料の腐食疲労と同様に疲労限度は現れない。

3.2 き裂発生 図3に試験片表面の腐食損傷状況の観察結果の例を示す。各材料における腐食ピットの発生とそれに関連するき裂発生箇所は以下のとおりである。

- (1) 1C3.5Vの場合、オーステナイト母地組織を網目状に取り囲む層状組織(図3(a))、
- (2) 2C6.5Vでは層状組織のほかに、VC自体、VCと母地組織の境界、および層状組織と母地組織の境界(図3(b))、
- (3) 3C10Vの場合、花卉状のVCや層状組織または層状組織と母地組織の境界(図3(c))、
- (4) N2C6.5Vでは球状のVC自体、VCと母地組織の境界、層状組織と母地組織の境界(図3(d))。

以上の腐食ピットの発生挙動から、炭化物が母地組織よりも電気化学的に卑であるために、炭化物自体や層状組織中、またはそれらと母地組織との境界で腐食ピットが発生したと考えられる。

図4に3%NaCl水溶液中における表面き裂長さ $2c$ と繰返し数比 N/N_f (N_f : 疲労寿命) 関係を示す。なお、図には比較のために大気中の結果も併記した。1C3.5Vの場合、3%NaCl水溶液中における相対的なき裂発生は大気中とほぼ同程度と考えられるが、2C6.5VやN2C6.5Vではきわめて早い。これは前述したとおり、VCや層状組織およびそれらと母地組織の境界で腐食ピットの発生、成長、合体が生ずるためと考えられる。

3.3 微小き裂成長挙動 き裂成長速度 da/dN と最大応力拡大係数 K_{max} の関係を図5に示す。3%NaCl水溶液中の微小き裂は、いずれの材料も大気中よりもむしろ遅い速度で成長する。特に、1C3.5Vにおいて顕著である。こうした3%NaCl水溶液中の成長挙動は、前述した腐食ピット発生箇所が優先的なき裂経路となるため複雑な経路となることに起因していると考えられる。

3.4 腐食環境中における疲労強度の低下 図2に示したように、3%NaCl水溶液中では大気中の疲労限度以下でも破壊が生じた。この挙動は高V-Cr-Ni 鋳鉄の低い耐孔食性に起因する。すなわち、炭化物が母地組織よりも電気化学的に卑であるため、炭化物自身、層状組織内、または炭化物と母地組織の境界で広範囲に腐食ピットが発生することが原因である。図4に見られるように、き裂は早期に発生するから疲労寿命のほとんどは微小き裂成長によって占め

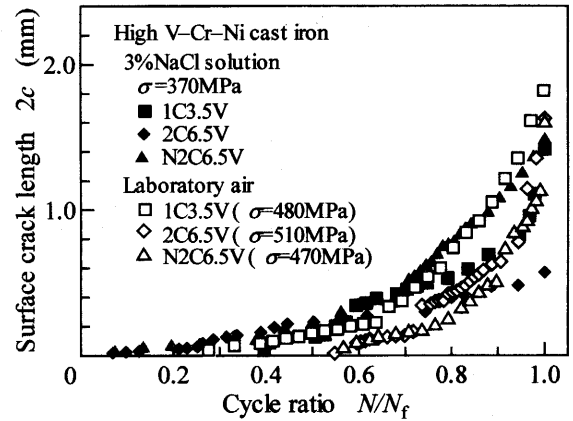


Fig.4 Surface crack length as a function of cycle ratio.

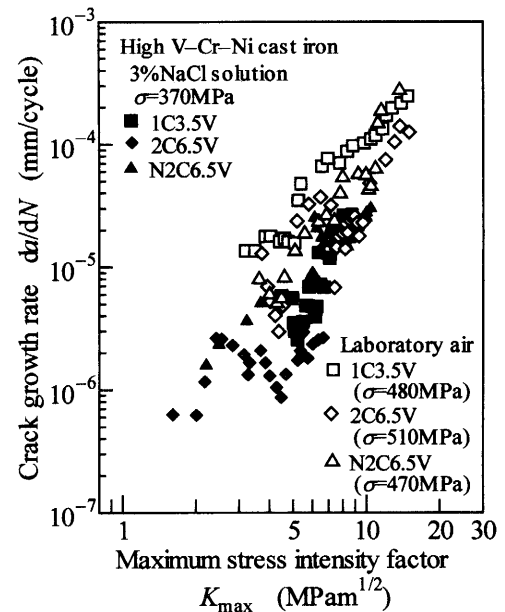


Fig.5 Relationship between crack growth rate and maximum stress intensity factor for small cracks.

られる。主き裂は前述した理由により大気中よりもむしろ遅く成長するが、広範囲に発生した腐食ピットのために、主き裂以外にも多数のき裂が発生し、広範囲に腐食損傷を受けている。したがって、大気中よりも遅い3%NaCl水溶液中におけるき裂成長は実質的に重要ではなく、腐食ピットの発生、成長とそれに続く早期のき裂発生が、本鋳鉄の腐食疲労強度を支配している。

4. 結 言

本研究では、組織の異なる4種類の高V-Cr-Ni 鋳鉄の平滑試験片を用いて、3%NaCl水溶液中において回転曲げ疲労試験を行い、疲労挙動に及ぼす腐食環境の影響について検討した。

組織やVCの球状化にかかわらず、大気中の有限寿命領域では、3%NaCl水溶液中における疲労強度は大気中の結果とほぼ同程度であったが、大気中の疲労限度以下でも破壊が生じた。この疲労強度の低下はVC自体、VCと母地組織の境界、層状組織内、および層状組織と母地組織の境界などで広範囲に発生する腐食ピットとそれに続く早期のき裂発生に起因することを明らかにした。

(参考文献省略)