

討15-1 鋼の疲労き裂の伝播特性

(組織, 破壊機構および破壊力学的解析結果の相関性について)

東京工業大学 工学部 小林英男, 中沢一
 大学院 村上理一, 藤田健太郎

1. はじめに

焼もどし温度を変えて種々の強度レベルとレシム中炭素鋼(10B35), ボロン合金鋼(10B35), Ni-Cr-Mo鋼(SNCM8), さらに低炭素鋼(SAPH45)とステンレス鋼(SUS27)について, 応力比を変えた繰返し引張りの疲労試験を行い, き裂進展挙動に対して破壊力学およびフラクトグラフィによる解析を加えた。

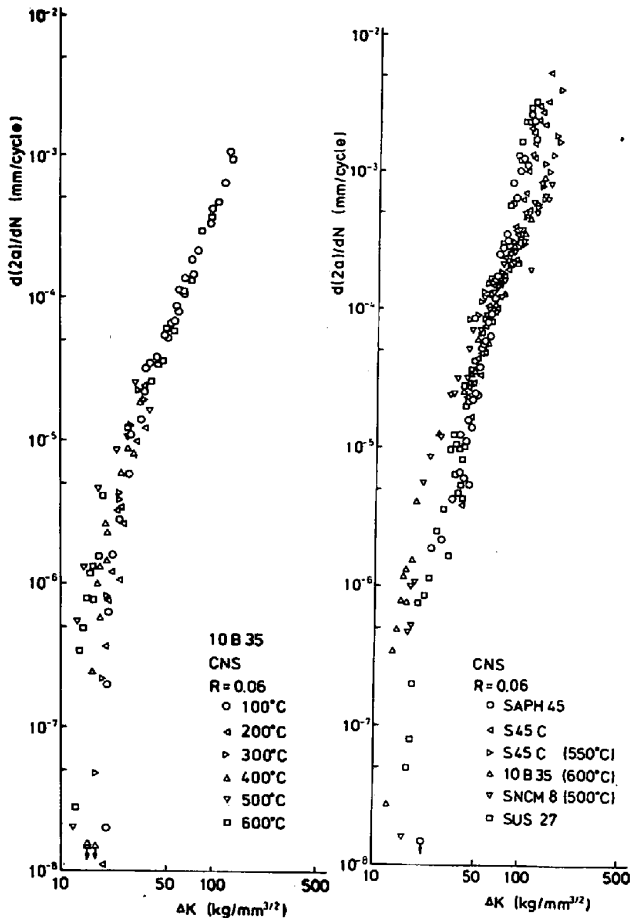


図1 第2a段階 ($\Delta K < 40$) 第2b段階 ($\Delta K > 40$)
 図4 第2a段階 ($\Delta K < 50$) 第2b段階 ($\Delta K > 50$)

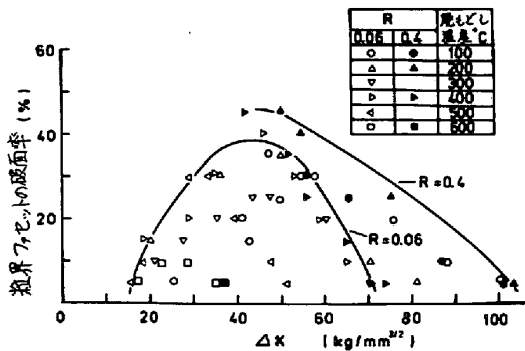


図2 第2a段階 ($\Delta K < 40$), 第2b段階 ($\Delta K > 40$)

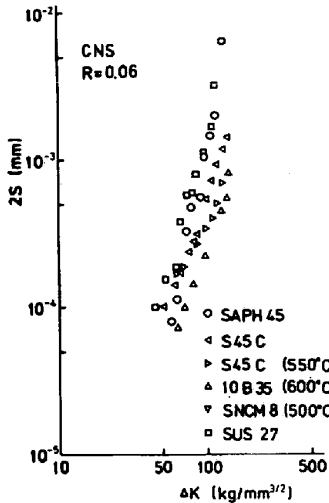


図5 ストライエーション間隔

その結果, 鋼の組織, 破壊機構および破壊力学的特性値(指数則の m と C の値, および ΔK_{th}) の間の関係が明らかにされた。

2. き裂進展過程の分類

破壊力学的取扱いの対象となるき裂面の変位様式がモードIの, いわゆる第2段階のき裂進展過程は, さらに破面様相から, 組織敏感な第2a段階, ストライエーション形成機構が支配的である組織不敏感な第2b段階, およびへき開, ディンプル(微小空洞の合体), 粒界の脆性割れ等の一方

向破壊に類似した破壊機構が作動する第2c段階の三つに分類される。

ΔK レベルの増大とともに, 第2a段階 → 第2b段階 → 第2c段階の遷移が生ずるのが普通であるが, 材料によっては第2b段階あるいは第2c段階のみずれかが出現しない場合もあり。

このような過程(破面様相あるいは破壊機構)の遷移に対応して, 破壊力学的特性値に差異が生ずる。

3. 破壊力学的特性値

(1) 第2a段階

破壊機構の詳細は目下のところ不明であるが,

き裂進展速

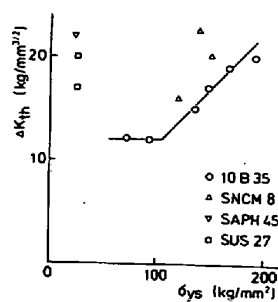


図3 ΔK_{th} の組織と強度レベルへの依存

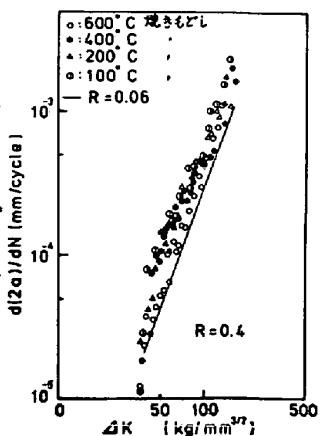


図6 第2b段階における応力比の影響(図1参照)

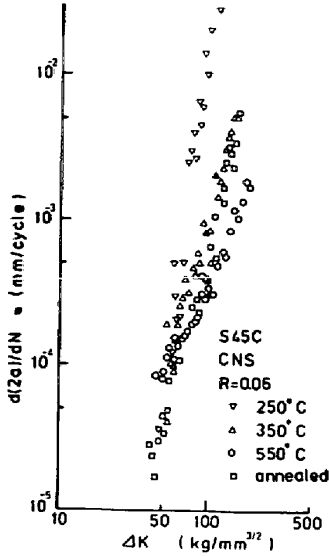


図7 才2C段階(250°C, 350°C)
才2b段階(550°C, 焼鈍)

度は破面様相を反映して組織あるいは強度レベルに敏感であり、指数則は成立しない(図1, 2)。このことはΔKthの値に因しても同様である(図3)。次の才2b段階への遷移は、主として組織の大きさ(例えば、結晶粒径)と、裂先端での塑性域の大きさとの相対的な関係によって一義的に定まっている(図2)。

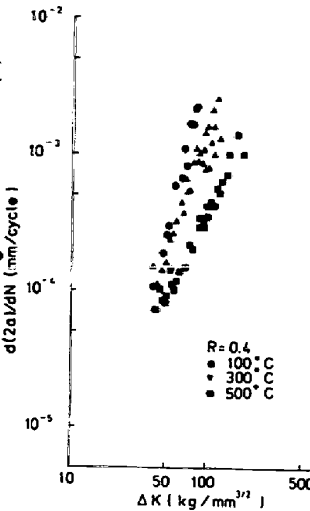


図10 才2C段階における応力比の影響(図9参照)

(2)才2b段階 裂進展速度は組織あるいは強度レベル

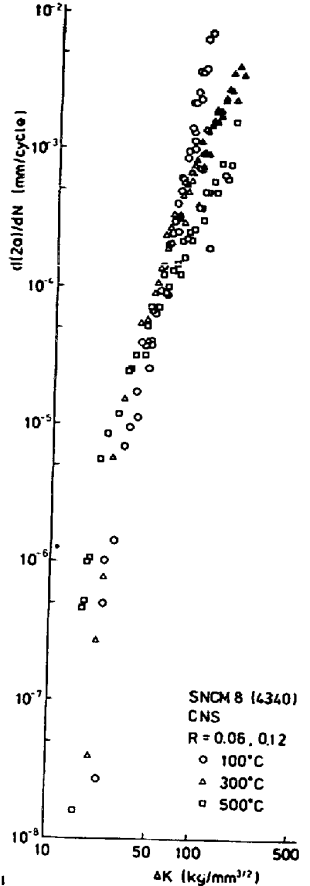


図9 才2C段階(100°C, 300°C)
才2b段階(500°C)
才2a段階(ΔK<50)

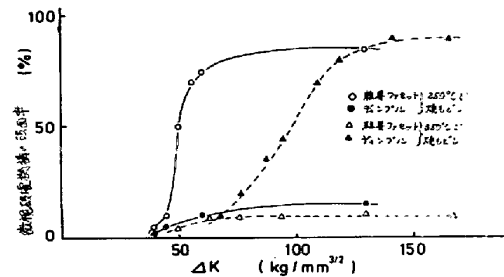


図8 才2C段階における破面率(図7参照)

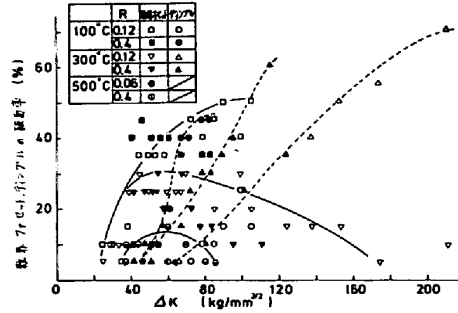


図11 才2C段階における破面率(図9, 10参照)

ルに著しく不敏感であり(図1, 4), ストラウイェーニオン間隔と全く一致し(図5), 応力比の影響もわずかしか存在しない(図1, 6)。一般にこの段階は強度レベルが高く、ひびきど出現し難くなる。しかし、ボロン合金鋼だけが例外である(図1)。次の才2C段階への遷移条件は不明である。しかし、才2b段階が顕著に存在しない場合には、上述した才2a段階→才2b段階の遷移条件が才2a段階→才2C段階の遷移条件にも当てはまる。なお、この段階では顕著な非線形効果が生ずる場合が多い。

(3)才2C段階 mの値は才2b段階(ストラウイェーニオン形成機構)の場合よりも大きく、さらに破壊機構がディンゲルから粒界割れへと変化するために増加する(図7, 8, 9, 11)。応力比の影響も大きい(図10)。組織不敏感は才2b段階からの遷移を反映して、この段階におけるmの値とCの値との間には、強い相関性が認められる(図12)。以上のことは、支配的破壊機構から当然、最終破壊時の破壊靱性値を反映しているとも言える。いずれにせよ、才2a段階とひびき裂伝播抵抗における組織あるいは強度レベルの影響が全く逆になることに注意すべきである(図9)。

なお、データは著者の以下の文献を集録したものである。中沢ら、機論、40-338(1974), 271。笠井ら、材料、23-252(1972), 777。村上ら、機論、(57-7)掲載予定。機論、760-2(1957-4), 233。藤田ら、炭谷ら、機論、(57-10), 154。新鋼鉄発表予定。

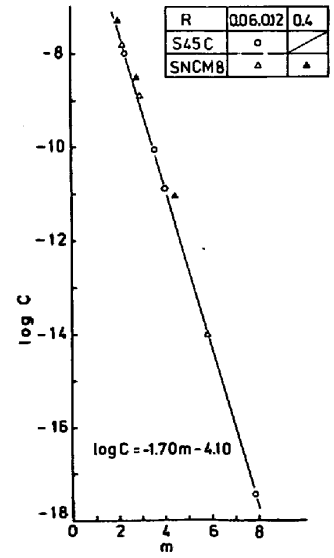


図12 才2C段階におけるmとCの関係