	1	1	0
--	---	---	---

高強度鋼のS-N曲線の2段折れ曲がり現象に及ぼす清浄度の影響

Effect of Cleanliness on Step-Wise S-N Curve in High Strength Steel

Æ 高 行 男 (中日本自動車短大) 〇正 井藤賀 久岳 (中日本自動車短大) 正中島 正 貴 (豊田高専)

惠 郎 (岐阜大工) 正 飯久保 知人 (大同特殊鋼)

言

Haeng-Nam KO, Nakanihon Automotive College, Sakahogi-cho, Kamo-gun, Gifu Hisatake ITOGA, Nakanihon Automotive College Keiro TOKAJI, Gifu University Masaki NAKAJIMA, Toyota College of Technology Tomohito IIKUBO, DAIDO STEEL CO., LTD.

Key Words: Fatigue, High Strength Steel, Step-Wise S-N Curve, Cleanliness, Fracture Mode

緒

1.

正

戸 梶

高強度鋼の疲労破壊形態は、高応力・短寿命域では表面 起点型破壊,低応力・長寿命域では内部起点型破壊となり、 それに起因して S-N曲線が2段に折れ曲がることが知られ ている.一般に,疲労き裂は表面起点型破壊では表面のす べりにより発生するが、内部起点型破壊では材料内部の介 在物を起点として発生したのち fish-eye を形成する.

このような破壊起点の遷移は、表面や内部からのき裂発 生を抑制、または助長する因子によって影響を受ける、す なわち、表面起点型破壊を助長する因子として大気湿度な どの外部環境や表面粗さなどが、また内部起点型破壊を助 長する因子として表面層の残留応力や硬化層などが考えら れる.実際著者らは、破壊起点の遷移に及ぼす大気湿度や 表面硬化層の影響を明確に示してきた. これらの因子に加 えて,内部起点型破壊のき裂発生点となる介在物の分布(寸 法、個数)も疲労強度特性に影響を及ぼすことが予想され るが,この点を検討した研究は少ない.

そこで本研究では、清浄度の異なる2種類の高炭素クロ ム軸受鋼 SUJ2 を用いて室温大気中において疲労試験を行 い,両材の結果を比較することによって S-N 曲線の形態や 破壊機構に及ぼす清浄度、すなわち介在物の影響について 検討した.

2. 供試材および実験方法

供試材には、2種類の高炭素クロム軸受鋼 SUJ2 を用意し た. 後述するように清浄度の高いものを SUJ2-H 材,清浄 度の低いものを SUJ2-L 材とした. 化学成分および熱処理

Material	C	Si	Mn	Р	S	Cu	Ni	Cr	Mo
SUJ2-L	1.01	0.23	0.36	0.012	0.007	0.06	0.04	1.45	0.02
SUJ2-H	1.00	0.19	0.33	0.002	0.002	0.06	0.05	1.43	0.01

Table 2 Heat treatment conditions.

Material	Quenching	Tempering		
SUJ2-L	835°C/40min, O.Q.	180°C/120min, A.C.		
SUJ2-H	850°C/30min, O.Q.	180°C/120min, A.C.		

Table 5	Cicaminess.	
A (%)	B+C (%)	A+B+C (%)
0.0375	0.0063	0.0438
0.0438	0.0125	0.0563
0.0250	0.0063	0.0313
0.0125	0.0188	0.0313
	A (%) 0.0375 0.0438 0.0250 0.0125	A (%) B+C (%) 0.0375 0.0063 0.0438 0.0125 0.0250 0.0063 0.0125 0.0188

条件をそれぞれ表1および2に示す.熱処理後,両材とも 最小断面部直径 3mm の砂時計型の試験片形状に機械加工 した. 応力集中係数は 1.06 である.

両材の最小断面部の表面粗さおよび表面残留応力はほぼ 同様で, SUJ2-L 材および SUJ2-H 材の最大粗さはそれぞれ 2.57µm, 2.19µm, 算術平均粗さは 0.29µm, 0.23µm, また残 留応力は-539MPa, -533MPa であった. さらにビッカー ス硬さも同程度(SUJ2-L 材では HV784, SUJ2-H 材では HV792)であり、両材とも内部までほぼ一様であった.両 **材において各2本ずつ清浄度を JIS 点算法(JIS G0555)に** より測定した. その結果を表3に示す. 表から明らかなよ うに, SUJ2-H 材の清浄度は SUJ2-L 材に比べて高い.

疲労試験には4連式片持ち回転曲げ疲労試験機(繰返し 速度:3150rpm)を用いて、室温大気中において実験を行 った.

3. 実験結果および考察

3.1 S-N曲線

両材の S-N 曲線を図1に示す.破面の観察結果に基づい て,表面起点型破壊を白印(O,△),fish-eyeを伴う内部 起点型破壊を黒印(●,▲)で区別した.図中の実線は, 両材の表面起点型のデータおよび各材の内部起点型のデー タを直線回帰したものである.

図から明らかなように、SUJ2-L 材および SUJ2-H 材とも S-N曲線は2段折れ曲がりを示し、破壊起点が表面から内 部に遷移する応力が認められる. すなわち, 遷移応力以上 の高応力・短寿命域では表面起点型,遷移応力以下の低応 力・長寿命域では内部起点型である.また,SUJ2-L材に比



日本機械学会東海支部岐阜地区講演会講演論文集('01.9.15) No013-2

べて SUJ2-H 材のほうがより高い応力でも内部起点型破壊 を起こし, SUJ2-L 材よりもやや高い遷移応力を示すようで ある.

表面起点型破壊においては、両材の疲労寿命および表面 起点型破壊となる最低応力はほぼ同様である.これらは、 両材の表面粗さ、残留応力および硬さがほぼ同様であり、 かつ同一環境で疲労試験を行われたためであると考えられ る.すなわち表面起点型破壊は、材料の表面状態および外 部環境によって強く影響を受け、表面からのき裂発生が促 進されるが、清浄度の影響は受け難いことを示している.

一方,内部起点型破壊においては,SUJ2-L 材に比べて SUJ2-H 材の清浄度が高いにも関わらず, SUJ2-H 材の疲労 寿命は短い.これは後述するように,清浄度よりも介在物 寸法がより大きな影響を及ぼしているためである. すなわ ち, SUJ2-H 材の介在物寸法が大きいために, き裂発生まで の繰返し数が少なくなり、またその後の成長寿命も短くな ることによるものと考えられる.また, SUJ2-L 材の遷移応 カに比べて SUJ2-H 材のそれは高くなったが、これも介在 物寸法が影響していると考えられる. 遷移応力近傍の応力 域では,表面起点型破壊および内部起点型破壊が混在する. そのため、湿度などの表面起点型破壊を促進する因子が大 きく作用すれば、表面起点型破壊になりやすく、逆に介在 物寸法の増加など内部起点型破壊を促進する因子が大きく 作用すれば、内部起点型破壊になりやすくなる、このこと から,介在物寸法の大きい SUJ2-H 材のほうが内部起点型 破壊を生じやすいため、遷移応力が高くなったと考えられ







Fig.4 Relationship between stress intensity factor range for inclusion and fatigue life.

る.

3.2 破面観察

内部起点型破壊の試験片には介在物を起点とした試験片 表面に内接する fish-eye が観察された. fish-eye の試験片半 径方向長さ 2b およびその直角方向長さ 2a の関係を図 2 に 示す. 図中の破線は真円を示す. 図から明らかなように, 両材の fish-eye ともほぼ真円であり,また清浄度に関わら ず fish-eye の大きさもほぼ同様であった.また,破壊起点 となった介在物の試験表面からの距離も両材でほぼ同様で あった.これらのことから,清浄度は fish-eye の形成に影 響を及ぼさないことがわかる.

次に、両材の疲労寿命と破壊起点となった介在物の \int area の関係を図3に示す.両材とも \int area はばらついてお り、疲労寿命との相関は認められない.しかし、SUJ2-L材 の \int area に比べてSUJ2-H 材の \int area は明らかに大きく、 破壊起点となった介在物の \int area の平均値は、前者では 8.3µm であるのに対して後者では17.1µm であった. 3.3 応力拡大係数幅と疲労寿命の関係

両材の内部起点型破壊の試験片における介在物寸法から、応力拡大係数幅ΔK_{inc}を求めた.これとN_fの関係を図4に示す.なお図中の実線は、全データに関して最小自乗 近似した直線である.両材ともΔK_{inc}の減少にともなって N_fは増加する傾向を示す.両材の特性(硬さ,残留応力)やfish-eyeの様相に顕著な相違はないので,fish-eye内のき 裂進展挙動やその後のき裂進展挙動も顕著な相違がないも のと考えられる.それにもかかわらず内部起点型破壊にお ける両材の疲労寿命は異なっている.これはき裂発生まで に費やされる繰返し数が両材で大きく異なるためであると 考えられる.

結

4.

言

清浄度の異なる2種類の高炭素クロム軸受鋼において室 温大気中で疲労試験を行った.その結果,表面起点型破壊 となる応力域においては,両材はほぼ同様の疲労強度特性 を示したが,内部起点型破壊となる応力域においては,清 浄度の高い材料に比べて清浄度の低い材料の疲労強度特性 が優れることがわかった.これは,清浄度の評価には介在 物の個数が対象となり,疲労強度特性に大きく影響を及ぼ す介在物寸法が考慮されないためである.清浄度を考慮し て疲労強度特性を評価する場合,この点について留意する 必要がある.

(参考文献省略)

-21-