

照射すると支持体のカーボン蒸着膜が破れるので通常は電子顕微鏡に使用するレプリカをマイクロアナライザーで分析できないのであるが、このレプリカにさらに表裏からカーボン蒸着を行なうことによつて、電子線によつても破れぬ、しかも電子顕微鏡で観察し得る試料を作る方法に成功したので、これを利用して抽出された介在物を分析した。

マイクロアナライザーの電子線走査像を Photo. 4 に示す。この写真の試料電流像で黒く見えるのが介在物であり、シートメッシュの輪郭が見られる。介在物には Mn と Si とが存在することが示されている。さらにこの介在物を点分析によつて調べた結果、Mn と Si よりなる酸化物であり rhodonite ( $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ ) に近い組成であり、融点は低くグラッシーな状態のものである。この酸化物は加熱時に生じたものであつて、これが融合を妨げるためにフラット破面を生ずると考えられる。

### 5. 結 言

上記実験を要約するとつぎのようである。

(1) Mn 量を 1.1, 1.4, 1.6, 1.9% に変えフラット破面の影響を調べたが、Mn 量が多くなればフラット破面が多くなる。

(2) ガス圧接時の最高加熱温度 (1150~1270°C) の保持時間が長くなればフラット破面が少なくなる。しかし Mn 量が 1.9% では 80% 以上のフラット破面であつた。

(3) 接合面に介在する黒い介在物はフラット破面を生じやすい鋼種に多く見られる。したがつて Mn 量の多いものほど多く形も大きい。この介在物は破断した破面で観察すると黒い球状に点在する。

(4) この球状の介在物を電子線回折およびマイクロアナライザーで分析した結果、ロードナイトに近い組成のグラッシーなマンガンシリケートであつて、加熱時に酸化されて生じたものである。

## (236) 高張力鋼の疲労における切欠きの影響

富士製鉄, 中央研究所

工博 村木潤次郎・石黒 隆義

○半沢 貢・片屋 信彦

The Effect of the Notch on the Fatigue of High Tensile Strength Steels.

Dr. Junjirō MURAKI, Takayoshi ISHIGURO,  
Mitsugu HANZAWA and Nobuhiko KATAYA.

### 1. 結 言

溶接性高張力鋼の母材の疲労強度は十分高い値を有しているにもかかわらず、その溶接継手の疲労強度は母材の疲労強度に比較してきわめて低く、場合によつては軟鋼溶接継手の疲労強度と同程度になってしまう。また、高張力鋼は疲労において切欠きのような応力集中が存在すると敏感にその影響を受けて疲労強度は低下してしまい、さらに、一部では疲労亀裂の伝播速度は軟鋼よりも速く、高張力鋼の使用にあたり応力集中などに対し

て十分注意する必要があるといわれている。

以上述べたように、高張力鋼の疲労については概念的には理解されているが、実際的には不明な点が多い。たとえば、現用溶接性高張力鋼の疲労における切欠き感受性を調査した資料がほとんどないこと、溶接継手の疲労強度の低下についても経験的には知られているがその原因を分解して考えた研究結果が非常に少ないこと、また、ラミネーションなどの内部欠陥が高張力鋼の疲労強度におよぼす影響を調査した資料もきわめて少ないこと、などである。したがつてこれらの問題の解明に対する共通の資料となり得るものと考えて、一連の引張強さを異にする各種高張力鋼について切欠き疲労試験を実施した。

### 2. 供 試 材

実験にはなるべく広範囲の引張強さの異なる鋼が必要なため引張強さが 106.7 kg/mm<sup>2</sup> から 46.3 kg/mm<sup>2</sup> のもの 10 鋼種について疲労試験を行なつた。供試材の化学成分と機械的性質 (JIS 4 号引張試験片) を Table 1 および Table 2 に示す。これらの鋼は引張強さがそれぞれ A 材は 100, C 材は 80, D 材は 70 kg/mm<sup>2</sup> および E 材は 60 kg/mm<sup>2</sup> である調質高張力鋼であり、F 材は引張強さが 52 kg/mm<sup>2</sup> である非調質高張力鋼である。B 材は Ni を 9% 含む極低温用鋼であり、G 材と H 材はそれぞれ Ni を 3 1/2% および 2 1/2% 含む低温用鋼である。また、J 材は調質アルミキルド低温用鋼、I 材は SS 41 である。なお、供試材の板厚は 13 mm から 30 mm のものである。

### 3. 実 験 方 法

容量 10 kg-m の小野式回転曲げ疲労試験機を用いて回転速度は 2880 rpm で疲労試験を行なつた。平滑試験片の平行部直径は 8 mm としペーパー仕上げを行ない、切欠き試験片の平行部直径は 10 mm とし、これに切欠き角度 60°, 深さ 1 mm の切欠きを入れた。したがつて切欠き底の直径は 8 mm である。切欠き先端半径は 0.8R, 0.25R, 0.07R および 0.03R とし、それぞれの形状係数 ( $\alpha$ ) は 1.7, 2.3, 3.8 および 5.3 である。 $\alpha$  は NEUBER<sup>1)</sup> の方法で求めた。機械加工にあたり極力加工の影響が入らないように注意し、母材の性質が変化する恐れがあるため、応力除去焼鈍は行なわなかつた。耐久限度は  $1.2 \times 10^7$  回の繰返し数で破断しない最大の応力振巾とし、耐久限度を求めるために応力振巾を 0.25 kg/mm<sup>2</sup> おきに変化させた。

### 4. 実験結果および考察

回転曲げ疲労試験結果を Table 3 に示す。ここで、 $\sigma_w$  は平滑耐久限度であり、 $\sigma_w'$  は切欠き耐久限度である。 $\beta$  は  $\sigma_w/\sigma_w'$  をすなわち切欠き係数を表わし、 $q$  は  $(\beta - 1)/(\alpha - 1)$  なる切欠き感受係数を表わす。

#### 4.1 静的強度と平滑耐久限度

静的強度と平滑耐久限度との間の関係を求めておくことは工業的に必要であり、従来いろいろの実験式が提出されている<sup>2)</sup>。Table 3 の  $\sigma_w$  と引張強さ  $\sigma_B$  との比すなわち耐久限度比に着目すると、C 材、D 材、E 材、F 材、I 材および J 材の  $\sigma_w/\sigma_B$  は 50% 前後でそろっているが、A 材は他の鋼より明らかに低く、B 材と G 材と H 材は逆に 2 割弱程度  $\sigma_w/\sigma_B$  が高くなっている。B 材と G 材と H 材は多量の Ni を含有しており、これら 3 鋼

Table 1. Chemical composition of steels. (%)

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo	V	B	Nb	Co	Sol Al
A	0.143	0.44	1.16	0.013	0.009	0.96	0.35	1.45	0.65	0.078	0.0025	0.047		0.024
B	0.095	0.23	0.43	0.018	0.014	0.03	0.10	8.44					0.12	0.026
C	0.12	0.26	0.78	0.015	0.009	0.51	0.34	0.87	0.44	0.062	0.003			
D	0.13	0.36	0.94	0.012	0.009	0.44	1.17	0.40						
E	0.15	0.33	1.26	0.016	0.012									
F	0.15	0.28	1.32	0.018	0.019									
G	0.05	0.28	0.54	0.008	0.009		0.10	3.51						
H	0.10	0.28	0.68	0.009	0.010		0.12	2.74						
I	0.19	0.04	0.84	0.014	0.027									
J	0.10	0.28	1.09	0.008	0.005		0.11							0.022

Table 2. Mechanical properties of steels.

Steel	Tensile strength $\sigma_B$ kg/mm <sup>2</sup>	Yield point $\sigma_Y$ kg/mm <sup>2</sup>	Yield ratio $\sigma_Y/\sigma_B$ %	Elongation $\epsilon$ %	Reduction of area $\psi$ %	Vickers hardness H <sub>V10</sub>	Impact value at 0°C E <sub>0</sub> kg-m
A	106.7	99.7	93.4	19.7	54.9	361	12.0
B	79.7	67.5	84.7	27.7	64.9	245	24.0
C	78.8	72.9	92.5	26.7	69.8	252	15.4
D	69.4	58.5	84.4	25.9	69.8	216	8.2
E	65.0	52.3	80.5	27.4	70.6	198	17.0
F	54.2	38.4	70.8	39.5	72.8	148	18.8
G	51.6	42.0	81.4	40.4	80.4		32.0
H	51.5	41.5	80.6	43.2	73.4		32.3
I	47.2	35.7	75.8	39.1	66.5	131	3.6
J	46.3	37.5	81.1	42.6	81.7		34.0

Table 3. Results of rotating bending fatigue tests.

Steel	Plain specimens			Notched specimens											
				$\alpha=1.7$			$\alpha=2.3$			$\alpha=3.8$			$\alpha=5.3$		
	$\sigma_w$ kg/mm <sup>2</sup>	$\sigma_w/\sigma_B$ %	$\sigma_w/\sigma_Y$ %	$\sigma_w'$ kg/mm <sup>2</sup>	$\beta$	q	$\sigma_w'$ kg/mm <sup>2</sup>	$\beta$	q	$\sigma_w'$ kg/mm <sup>2</sup>	$\beta$	q	$\sigma_w'$ kg/mm <sup>2</sup>	$\beta$	q
A	49.5	46.4	59.6	30.0	1.65	0.97	20.75	2.39	1.07	11.75	4.21	1.15	33.25	1.49	0.11
B	45.75	57.4	67.8	25.25	1.81	1.16	19.25	2.37	1.06	12.75	3.58	0.86	22.25	2.06	0.27
C	41.5	52.6	56.9	23.75	1.74	1.06	18.5	2.24	0.96	14.25	2.91	0.68	15.75	2.63	0.38
D	35.0	50.5	59.7	19.0	1.84	1.24	16.5	2.12	0.86	16.0	2.19	0.48	19.5	1.80	0.19
E	33.0	50.8	63.1	19.25	1.72	1.03	14.0	2.36	1.04	13.75	2.04	0.50	13.0	2.54	0.36
F	27.5	50.7	71.6	15.0	1.83	1.24	12.25	2.24	0.92	13.25	2.08	0.39	14.0	1.96	0.22
G	30.5	59.1	72.6				12.75	2.39	1.07	15.25	2.00	0.36			
H	30.0	58.3	73.9				13.25	2.26	0.97				14.25	2.11	0.26
I	22.75	48.2	63.7	12.25	1.86	1.23	12.25	1.86	0.66	9.75	2.33	0.48	15.0	1.52	0.13
J	25.0	54.0	61.6	14.5	1.73	1.04	11.25	2.22	0.94	10.0	2.50	0.53	13.0	1.92	0.21

種だけが  $\sigma_w/\sigma_B$  が高いという事実は実験のばらつきとは考えられず, Ni が  $\sigma_w/\sigma_B$  を向上させているものと考えられる. A材の  $\sigma_w/\sigma_B$  が低いのは  $\sigma_B$  が 106.7 kg/mm<sup>2</sup> と高いためであり, 従来の  $\sigma_B$  が非常に高くなると  $\sigma_w/\sigma_B$  が低くなるという結果と一致している. このように Ni を多量に含まない軟鋼や高張力鋼においては  $\sigma_w$  と  $\sigma_B$  とは非常によく関連しており  $\sigma_w \approx \sigma_B/2$  となっている. 本実験結果は FORREST 達<sup>3)</sup> が示しているような大きなばらつきはなく, 同一条件下の実験では  $\sigma_w$  と  $\sigma_B$  が良く対応することを示している.

また,  $\sigma_w$  の降伏点( $\sigma_Y$ )に対する比  $\sigma_w/\sigma_Y$  は Fig. 1

に示すように  $\sigma_Y$  の増加とともに減少する傾向があり SCHAUB<sup>4)</sup> の結果と一致している. この場合にも Ni を多量に含む鋼の  $\sigma_w/\sigma_Y$  は若干高い.

#### 4.2 疲労における切欠き感受性

Table 3 に示すように  $\alpha$  が 1.7 のときは各鋼種とも  $\beta = \alpha$ ,  $q = 1$  となっており,  $\alpha$  が 2.3 のときも I 材を除けば同様となっている.  $q$  が 1 よりも大きいものもあるが, これは熱処理による残留応力の影響もあろうが  $\beta$  の小さなばらつきが  $q$  を求める計算のときに大きくきいてくるためと思われる.  $\alpha$  が 3.8 の場合は鋼種によって  $\beta$  の値に大きな差が出てきている. KUHN ら<sup>5)</sup> は  $\sigma_B$  の

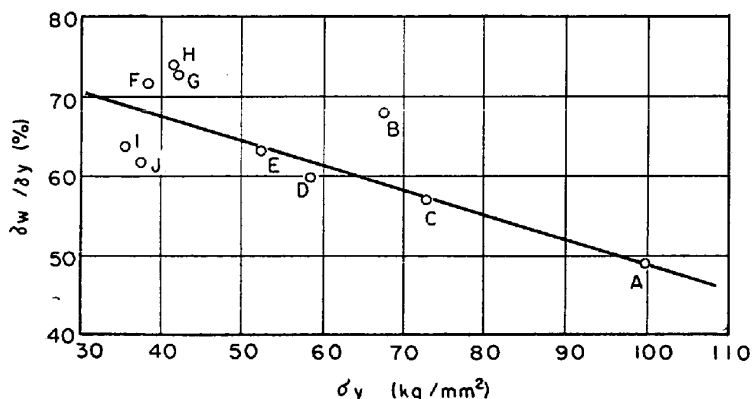


Fig. 1. Relation between endurance ratio  $\sigma_w/\sigma_y$  and yield point  $\sigma_y$ .

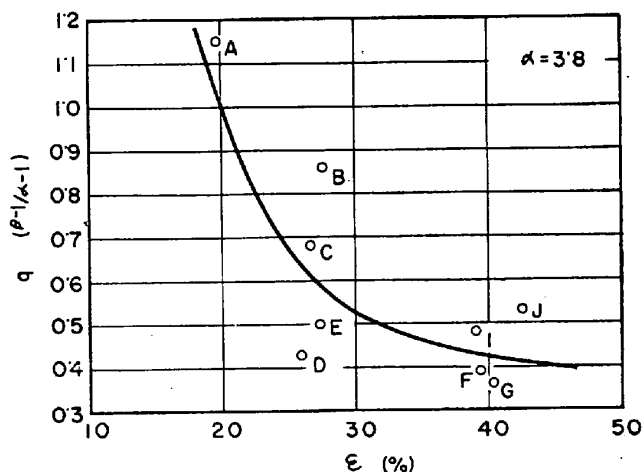


Fig. 2. Relation between notch sensitivity factor  $q$  and elongation  $\epsilon$  at  $\alpha=3.8$ .

増加とともに  $q$  も大きくなるとしているが、本実験では J 材から D 材までは  $q$  の変化が少なく C 材から A 材になると  $q$  が大きくなっていく傾向がある。また、各鋼種で  $\sigma_w'$  が  $\sigma_w'/\alpha$  なる曲線からはずれるところの  $\alpha$  の値は D 材から J 材までは約 2.3 であり、C 材から A 材になると  $\alpha$  は 3 から 3.8 へとなり  $\sigma_B$  が増加すると  $\alpha$  の大きな値のところへと移っていく傾向がある。結局、 $\sigma_B$  が 70 kg/mm<sup>2</sup> くらいまでは疲労における切欠き感受性の変化は少なく、 $\sigma_B$  が 70 kg/mm<sup>2</sup> 以上になると切欠き感受性は  $\sigma_B$  の増加とともに敏感になって行く傾向があり、HEMPEL ら<sup>6)</sup> の結果と良く似ている。

Fig. 2 は  $\alpha$  が 3.8 のときの  $q$  と伸びの関係を示しており、実験点はかなりばらついていて伸びの大きい方が小さいものより  $q$  が小さくなる傾向がある。 $q$  と 0°C におけるシャルピー値とではなんらの関連もなかつた。実験点が十分でないため明確ではないが  $\sigma_B$  が 70 kg/mm<sup>2</sup> 以下で Ni を含有する鋼は  $q$  が若干小さくなるようであり、他の結果<sup>7)</sup> と似ている。

B 材は Ni を多量に含有しながら  $q$  が大きいのはこの鋼だけ他の鋼と異なつた特殊な組織であり、 $\sigma_B$  も 80 kg/mm<sup>2</sup> と高いためと思われる。 $\alpha$  が 5.3 の場合は加工の影響が大きく入つてきており  $q$  のばらつきが大きい

比較は困難であつた。

### 5. 結 言

引張強さの異なる溶接性高張力鋼について、同一条件のもとで平滑および切欠き回転曲げ疲労試験を行ないつぎのような結論を得た。

1)  $\sigma_B$  が 80 kg/mm<sup>2</sup> 程度までの Ni を多量に含有しない軟鋼や溶接性高張力鋼の  $\sigma_w$  は  $\sigma_B$  あるいは  $\sigma_y$  の増加とともに増加し、平行部直径が 8 mm のときは  $\sigma_w/\sigma_B$  は 0.5 であるが  $\sigma_w/\sigma_y$  は  $\sigma_y$  が増加すると減少する。

2) Ni は  $\sigma_w/\sigma_B$  あるいは  $\sigma_w/\sigma_y$  を増加させる。

3)  $\sigma_B$  が 100 kg/mm<sup>2</sup> 以上になると  $\sigma_w/\sigma_B$  は減少する。

4)  $\sigma_B$  が 70 kg/mm<sup>2</sup> 以下では  $\alpha$  が大体 2.3 まで  $\beta=\alpha$  であるが  $\sigma_B$  が 70 kg/mm<sup>2</sup> 以上になると  $\sigma_B$  の増加とともに  $\beta=\alpha$  の範囲は  $\alpha$  の大きな値のほうへ移動する。

5) 疲労における切欠き感受性は  $\sigma_B$  が 70 kg/mm<sup>2</sup> まではあまり変化がなく、 $\sigma_B$  が 70 kg/mm<sup>2</sup> 以上になると  $\sigma_B$  の増加とともに切欠き感受性は敏感になる。

6) Ni は切欠き感受性を若干低下させる傾向がある。

### 文 献

- 1) H. NEUBER: Kerbspannungslehre, (1936)
- 2) 西岡: 金属材料の強度と破壊, (1964), p. 392
- 3) P. G. FORREST: Fatigue of metals, (1962), p. 58
- 4) C. SCHAUB: Jernkont. Ann., 145 (1961), p. 88
- 5) P. KUHN and H. F. HARDRATH: NACA. Tech. Note, 2805 (1952)
- 6) A. POMP and M. HEMPEL: Arch. Eisenhüttenw., 21 (1950), p. 53
- 7) M. HEMPEL: Arch. Eisenhüttenw., 12 (1939), p. 433

## (238) Ni-Cr-Mo 鋼におけるベイナイトの生成挙動におよぼすマルテンサイトの影響

金属材料技術研究所 ○中島 宏 興  
 東京大学, 工学部 工博 荒木 透  
 Effect of Martensite on the Kinetics of Bainite Formation in a Ni-Cr-Mo Steel.

Hirooki NAKAJIMA and Dr. Toru ARAKI.

### 1. 結 言

ベイナイト域で段階的な焼入を行なつた場合に、第 2 の温度におけるベイナイト変態の kinetics におよぼす第 1 の温度の影響については多くの研究がなされている<sup>1)~3)</sup>。

さらに、マルテンサイトのベイナイト変態におよぼす影響については、恒温変態において Ms 以下でベイナイト変態が著しく促進されること<sup>1)4)5)</sup>, Ms 以下でマルテンサイトを生成させた後に高温に上げた場合にベイナイ