

%でありこれを応力に換算すれば  $100 \text{ kg/mm}^2$  以下である。この応力は  $700^\circ\text{C}$  に短時間焼戻した試験片の室温引張強度よりかなり低くしたがって焼戻収縮のみによつては破断しないであろうと考えられる。しかし拘束条件下での全収縮量(焼戻収縮+塑性圧縮)は $0.8\sim 1.0\%$ となり、この全収縮量による破断の可能性は考慮される。この点についてはさらに詳細な実験が必要である。なおここで最も重視すべきは、急速加熱では焼戻収縮量がかなり小さく、とくに  $300\sim 400^\circ\text{C}$  では著しく小さな収縮量であつてこれによるクラック発生は考えにくいことであり、また高温焼戻しでは焼戻収縮はかなり大きくなるが全収縮量の中に包含され材質による焼戻収縮の大小はそのまま発生応力に影響せず、塑性圧縮量に影響するにすぎないことである。したがつてこの場合は、材質による破断特性は、高温での弾性強度の大小、短時間焼戻し後の室温強度に影響されるであろう。

### 5. 結 言

熱衝撃試験機により圧延用ロール材の表面被害の機構を解明し、次の結果を得た。

1) 破断は再焼入された場合に起こりやすい。この破断は変態応力と塑性圧縮による引張応力の急速負荷との重畳効果によつて発生する。

2) pre-set 圧縮力が大となる程見かけの破断温度は低温側に移行する。

3) 急速焼戻しでは、 $700^\circ\text{C}$  までほぼ直線的に焼戻収縮が進行し、この焼戻しのみによつては破断は発生しにくいようである。

### 文 献

- 1) 堀, 荒木田, 田部: 鉄と鋼, 51 (1965) 11, p. 200
- 2) G. F. MELLOY: Blast Furn. & Steel Plant, 52 (1964) 3, p. 250
- 3) L. P. TARASOV and C. O. LUNDBERG: Trans, Amer. Soc. Metals, 41 (1949), p. 893

## 構造用高張力鋼のクリープ破断特性について\*

八幡製鉄所, 技術研究所

高橋賢司・高島弘教・浦島親行

### The Creep Rupture Properties of High Tensile Strength Structural Steels

Kenji TAKAHASHI, Hironori TAKASHIMA and Chikayuki URASHIMA

### 1. 緒 言

常温で使用されている構造用高張力鋼も, 原子力工業, 石油その他の化学工業の急速な発達にともない $400^\circ\text{C}$  程度までの高温圧力容器材としても使用されるようになり, 常温の機械的性質以外に高温強度に関する特性が重要視されるようになった。米国では高張力鋼を含む各種圧力容器鋼について高温強度が求められている<sup>1)2)</sup>。

本報告は当社製非調質  $50 \text{ kg/mm}^2$  級高張力鋼, 調質  $60 \text{ kg/mm}^2$  級,  $80 \text{ kg/mm}^2$  級高張力鋼の母材および  $80 \text{ kg/mm}^2$  級高張力鋼溶接継手について, 高温引張り試験およびクリープ破断試験を大気中,  $450\sim 650^\circ\text{C}$  の温度範囲で実施し, 破断試験片の組織観察を行ない, ASME の Boiler Construction Code にしたがつて設計許容応力を求めた。また設計にあつて, クリープおよびクリープ破断強度を採る必要のある温度範囲を明らかにした。

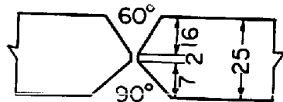
### 2. 供試材および実験方法

供試材は  $20\sim 25 \text{ mm}$  板厚の当社製品を用いた。化学成分および溶接条件を Table 1 に示す。WEL-TEN 80C は Ni を含有しない安価な高張力鋼である。溶接継手の試験片は溶接後 SR 処理をせずに板厚中心より採取し, 溶着金属, 熱影響部, 母材部が試験片平行部に十分入るようにした。クリープ試験片は, 母材, 溶接継手とも平行部径  $10 \text{ mm } \phi$ , 平行部長さ  $50 \text{ mm}$  のカラー付で, クリープ破断試験はクリープ試験と同時にこなつ

Table 1. Chemical compositions and heat treatment of high tensile strength structural steels tested.

Steel	Chemical composition (%)									Heat treatment
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Others	
WEL-TEN 50	0.16	0.34	1.19	0.032	0.012	—	—	—	—	As rolled
WEL-TEN 60	0.14	0.50	1.25	0.017	0.008	—	—	—	V 0.05	Quenched and Tempered
WEL-TEN 80	0.14	0.26	0.83	0.012	0.008	1.06	0.61	0.45	V 0.05	Quenched and Tempered
*WEL-TEN 80C	0.15	0.26	0.87	0.014	0.006	—	1.09	0.50	Cu 0.31	Quenched and Tempered

\* Welding condition of WEL-TEN 80C



- i) Edge preparation ii) Current :  $170 \pm 10 \text{ Amp}$  iii) Speed :  $150 \pm 10 \text{ mm/min}$   
iv) Preheating :  $150^\circ\text{C}$  v) Voltage : 25volt

\* 第73回講演大会にて発表 講演番号 174 昭和42年5月15日受付

Table 2. Rupture and creep strengths of steels tested.

Steel	Temperature (°C)	Stress to rupture in times (kg/mm <sup>2</sup> )					Stress for designated creep rate. (kg/mm <sup>2</sup> )	
		100hr	1000hr	5000hr	10,000hr	100,000hr	10 <sup>-4</sup> %/hr	10 <sup>-5</sup> %/hr
WEL-TEN 50	450	27.3	19.5	15.3	13.8	9.8 <sup>a</sup>	13.0	9.8 <sup>a</sup>
	550	10.4	6.9	5.2	4.6	3.1 <sup>a</sup>	4.6	3.3
WEL-TEN 60	450	29.2	24.0	17.8	15.3	10.0 <sup>a</sup>	8.0 <sup>a</sup>	4.5 <sup>a</sup>
	550	12.9	7.4	5.0	4.2	2.4 <sup>a</sup>	1.3 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>
	650	3.4	1.7	1.1	0.9 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>	—	—
WEL-TEN 80	550	26.9	14.9	10.0	8.2	4.6 <sup>a</sup>	10.8	6.8 <sup>a</sup>
	650	6.1	3.2	2.0	1.6	0.8 <sup>a</sup>	0.9 <sup>a</sup>	0.5 <sup>a</sup>
WEL-TEN 80C	500	51.0	32.0	26.1	23.2	20.1	—	—
	550	25.2	13.2	9.6	8.3	6.9	—	—
WEL-TEN 80C Welded joint	500	39.0	26.6	21.8	14.8	17.7	—	—
	550	19.1	12.0	9.4	8.4	7.3	—	—

<sup>a</sup>: extrapolated value

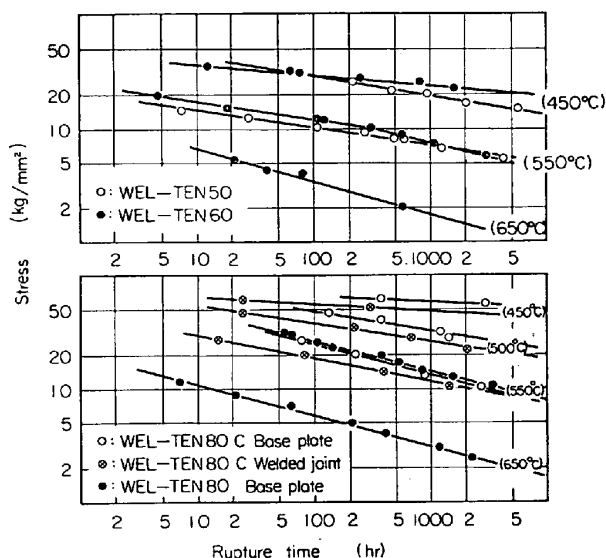


Fig. 1. Stress rupture curves for high tensile strength structural steels.

た。試験には 3t シングルクリープ試験機を用い、試験片の温度変動は ±1°C 以内に制御した。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 クリープおよびクリープ破断試験結果

各温度におけるクリープ破断試験結果を Fig. 1 に示す。これらの曲線の内外挿によつて求めたクリープ破断強度、および最小クリープ速度より求めたクリープ強度を Table 2 に示す。これよりつぎのことがわかる。WEL-TEN 50 のクリープ破断強度は 450°C ではいずれの破断時間強度も WEL-TEN 60 よりも劣るが、550°C では 2000hr 程度以上の破断時間では WEL-TEN 60 と同等以上と推定される。これは次項で述べるごとく、非調質材が調質材に比して高温での組織が安定であるためである。80 kg/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼のクリープ破断強度は 50 kg/mm<sup>2</sup>, 60 kg/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼よりも相当高く、WEL-TEN 80 は WEL-TEN 80C より若干高かった。

WEL-TEN 80C の溶接継手のクリープ破断強度は母材のそれより若干低めであつたが、高温長時間 (550°C, 5000hr 以上) では同等以上になると推定される。

クリープ破断伸びは、試験温度 550°C の場合 WEL-TEN 50, 60, 80, 80C 母材および溶接継手についてそれぞれ 23%~45%, 25%~70%, 0.2%~4.4%, 13%~24%, および 3.1%~12% で WEL-TEN 80C は WEL-TEN 80 よりも破断伸びが大きく、母材と溶接継手では母材の方が破断伸びは大きかつた。

クリープ破断伸びの変化の例を Fig. 2 に示す。試験温度および時間によつて破断伸びが Fig. 2 のごとく変化する現象はつぎのように考えられる。450°C の場合は粒界強度が大であるため粒内変形が主としておこり破断伸びが大となる。しかし長時間になれば粒界すべりもかなりおこるようになり、長時間になるほど破断伸びは減少する。550°C の場合は粒界強度が低いいため粒界すべりをおこし 450°C の場合に比して破断伸びは小さい。一方 650°C の場合は組織変化が急速に進行し、粒内強度が低下するため破断伸びが大きくなる。

#### 3.2 組織観察結果

1 例として 550°C でクリープ破断した試験片の顕微鏡組織を Photo. 1, 2 に示す。WEL-TEN 50 の組織は試験前の状態ではフェライト+パーライト組織である

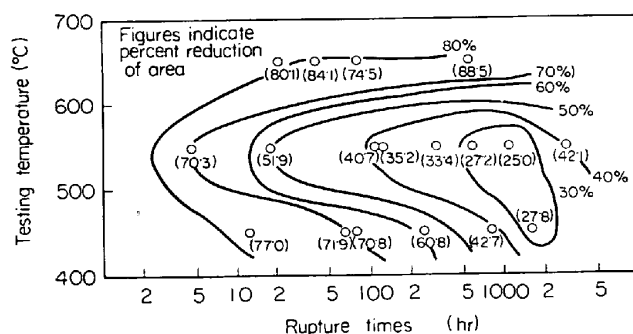
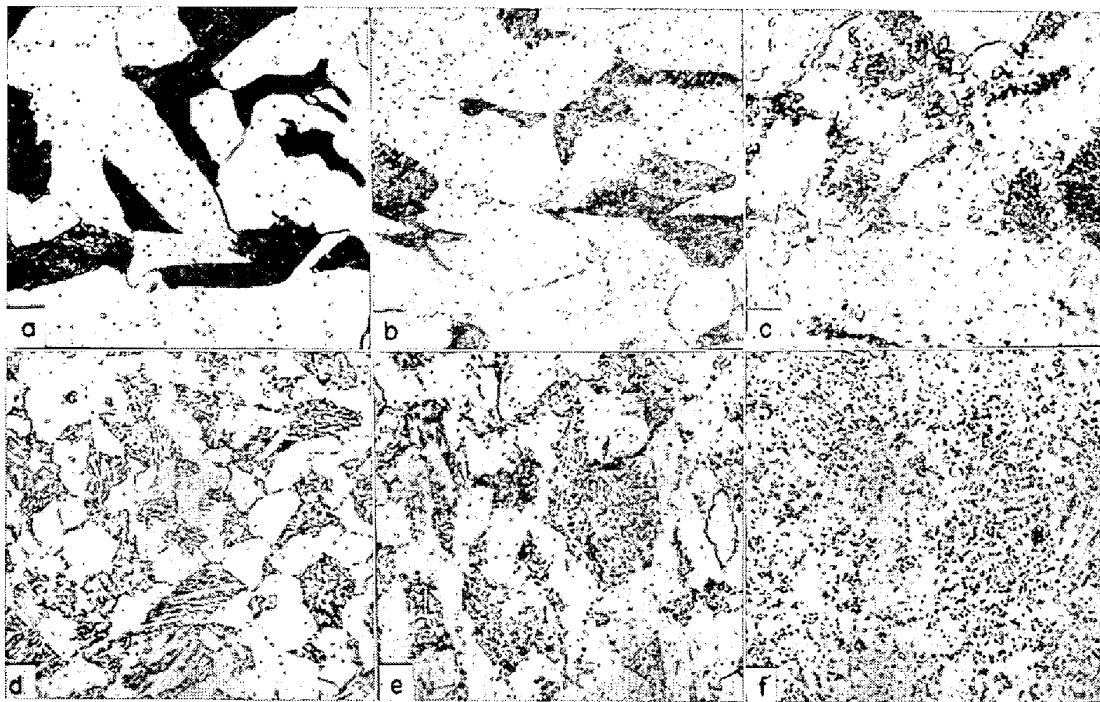


Fig. 2. Effect of time and temperature on the ductility of stress rupture specimens of WEL-TEN 60.



a : WEL-TEN 50 before test  
 b : WEL-TEN 50 tested at 550°C (rupture life-27.6hr, reduction of area-41.6%)  
 c : WEL-TEN 50 tested at 555°C (rupture life-4230hr, reduction of area-22.9%)  
 d : WEL-TEN 60 before test  
 e : WEL-TEN 60 tested at 550°C (rupture life-18.5hr, reduction of area-51.9%)  
 f : WEL-TEN 60 tested at 550°C (rupture life-314hr, reduction of area-33.4%)

×400(1/1)

Photo. 1. Microstructures of 50kg/mm<sup>2</sup> steels and 60kg/mm<sup>2</sup> steels before and after tests.



a : WEL-TEN 80 base plate before test  
 b : WEL-TEN 80 base plate tested at 550°C (rupture life; 872hr, reduction of area : 1.0%)  
 c : WEL-TEN 80 base plate tested at 550°C (rupture life; 3468hr, reduction of area : 4.4%)  
 d : Heat affected zone of WEL-TEN 80C tested at 500°C (rupture life : 687hr, reduction of area : 0.2%)

×400(1/1)

Photo. 2. Microstructures of 80kg/mm<sup>2</sup> steels before and after tests.

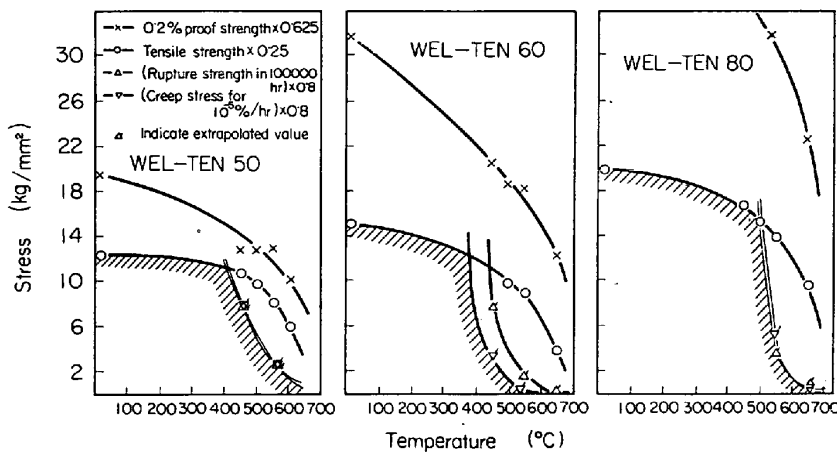


Fig. 3. High temperature strengths of high tensile strength structural steels.

が、試験温度が高くなるほど、また試験時間が長いほどパーライト組織が次第に崩れて粒内に炭化物が細かく分散したフェライト組織になる。しかしこのパーライトの崩れてゆく速さは WEL-TEN 60 よりも遅く、試験温度 550°C、4230hr 後でもパーライト組織が残存していた。WEL-TEN60 の組織は試験前の状態では WEL-TEN 50 と同様フェライト+パーライト組織であるが粒度がかなり小さい。WEL-TEN 60 は焼入れ焼もどしの調質鋼であるため、組織の高温安定性が WEL-TEN50 に比し悪く、パーライトの崩れてゆく速さも速い。WEL-TEN80 の組織は試験前の状態では焼もどしマルテンサイト+ベイナイト組織である。この組織は 550°C までの高温では比較的安定で、550°C、3469・5hr でも大きな組織変化はみられなかったが、それ以上の温度では、フェライト+パーライト組織に変化してゆく傾向の強いことが認められた。

破断部の組織を観察した結果、WEL-TEN60 のみかもつばら粒内破断により破断し、他は主として粒界破断によるものであった。溶接継手ではすべて熱影響粗粒化部に脆性クラックを生じて破断した。典型的なクラックの様相を Photo. 2 d に示す。このような現象は原子炉用高張力鋼<sup>3)</sup>、Cr-Mo 低合金鋼<sup>4)</sup>、Cr-Mo 含有 Ni 基合金<sup>5)</sup>の溶接継手にも認められている。

### 3.3 設計基準

ASME の Boiler Construction Code にしたがって許容応力を求めた結果を Fig. 3 に示す。これによると低温域ではいずれの鋼種も引張強さが設計基準となるが、400°C 前後の限界温度以上ではクリープ強度あるいはクリープ破断強度が設計基準となる。この限界温度は WEL-TEN50 では約 400°C、WEL-TEN60 では約 375°C、WEL-TEN80 では約 500°C であった。

### 4. 結 言

当社製非調質 50 kg/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼、および調質 60 kg/mm<sup>2</sup>、80 kg/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼ならびに 80 kg/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼溶接継手についてクリープ試験を行なった結果、つぎのことが明らかとなった。

1) 50 kg/mm<sup>2</sup> 級、80 kg/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼は 60 kg/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼に比し、粒界クリープ破断を起こ

す傾向が強い。60 kg/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼は高温で組織変化が比較的早期に起こり粒内強度が低下する。

2) 80 kg/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼溶接継手のクリープ破断張度は母材のそれより若干低めであったが、高温長時間(550°C、5000hr 以上)では同等以上になると推定された。溶接継手のクリープ破断は常に熱影響粗粒化部での脆性破断であった。

3) 高温引張特性よりもクリープ特性が設計基準となる限界温度は 50 kg/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼では約 400°C、60 kg/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼では約 375°C、80 kg/mm<sup>2</sup> 級高張力鋼では約 500°C である。

### 文 献

- 1) V. S. ROBINSON, A. W. PENSE and R. D. STOUT: *Welding J.*, 43 (1964) 12, Research Suppl., p. 531-S
- 2) J. J. DEBARBADILLO, A. W. PENSE and R. D. STOUT: *Welding J.*, 45 (1966) 8, Research Suppl., p. 357-S
- 3) 鈴木, 稲垣, 岡根, 馬田: *溶接学会誌*, 32 (1963) 8, p. 688
- 4) L. M. T. HOPKIN, D. MURRAY and D. DUVAL: *J. Iron & Steel Inst. (U.K.)*, 203 (1965) 8, p. 819
- 5) R. G. GILLILAND and J. T. VENARD: *Welding J.*, 45 (1966) 3, Research Suppl., p. 103-S

## 2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>%Cr-1%Mo 鋼のクリープ破断特性と破断後の硬さについて\*

金属材料技術研究所

横井 信・田中 千秋

門馬 義雄・伊藤 弘

Creep Rupture Behaviour and Hardness Characteristics of a 2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>%Cr-1%Mo Steel

Shin YOKOI, Chiaki TANAKA

Yoshio MOMMA and Hiroshi ITO

### 1. 緒 言

2<sup>1</sup>/<sub>4</sub>%Cr-1%Mo 鋼のクリープ破断応力-破断時間曲線には、いわゆる<折れ曲がり>の出現が知られている<sup>1)~3)</sup>。

当所においても、この鋼種で熱処理をそろえた同一チャージ材について、最高 3 万 hr 破断目標のクリープ破断試験を行なっており、筆者らは現在までに得られた 1 万~2 万 hr までの破断データについて、統計的処理による 2, 3 の検討を行なったが<sup>4)</sup>、この種の折れ曲がり が明らかに認められた。

そこで、クリープ破断後の試験片について、組織変化と硬さ変化を調べ、応力-破断時間曲線の折れ曲がりと

\* 第73回講演大会にて発表 講演番号 168 昭和42年5月10日受付