低炭素鋼のクリープの形状および寸法効果*

八 木 晃 一** 久 保 清**
田 中 千 秋*** 福 本 保***

Effects of Shape Size of Specimens on Creep and Rupture Properties of Low Carbon Steel

by

Koichi YAGI, Kiyoshi KUBO, Chiaki TANAKA and Tamotsu FUKUMOTO
(National Research Institute for Metals, Tokyo)

The effects of changes in shape and size of specimens on creep and rupture properties of low carbon steel were investigated on the plate specimens having various thickness (t_0), breadth (b_0) and parallel length (L_0). t_0 ranged from 2 to 30 mm, b_0 from 30 to 60 mm, and L_0 from 32 to 180 mm. $L_0/\sqrt{A}$ (A : area of cross section) varied between 2 and 13.7. Creep and rupture tests were carried out at 450°C and 550°C.

It is shown that, with increasing $L_0/\sqrt{A}$, the rupture time decreases in the case of plate specimens when $L_0/\sqrt{A} \leq 6$, but it is constant when $L_0/\sqrt{A} > 6$. On the other hand, it increases with $L_0/\sqrt{A}$ in the case of round specimens when $L_0/\sqrt{A} \leq 6$. With increasing $L_0/\sqrt{A}$, the minimum creep rate increases in the case of plate specimens when $L_0/\sqrt{A}$ is small, but it is constant when $L_0/\sqrt{A} > 6$. The changes in t_0 , b_0 and L_0 of the plate specimens affect both the rupture time and the minimum creep rate little if $L_0/\sqrt{A}$ is maintained constant.

In the case of short rupture time, the plate specimens with the dimensions of $b_0/t_0 > 10$ show the fracture oblique to the tensile axis across the broad sides. The angle of inclination made by the line of fracture is approximately 60°.

(Received Oct. 25, 1972)

1 緒 論

構造部材は形状寸法の相違によって強度に差異があるといわれており、これを明らかにするために種々の研究がなされている。たとえば、引張試験においては平滑試験片の形状および寸法効果などの研究が多数行なわれている。クリープ試験においても切欠き試験片の形状および寸法効果、平滑試験片の形状および寸法効果、さらに溶接継手についての寸法効果などの研究がある。しかし、クリープの形状寸法効果については研究が系統的には充分になされておらず、研究より得られたデータが設計に直接反映されているとはいえないようである。たとえば、多軸状態の構造部材のクリープ破断寿命の実測値が単軸引張クリープ試験データからの予測値と異なっていることがあり、その原因の一つは比較した試験片の形状および寸法の相違である

と指摘されている¹⁶⁾¹⁷⁾。現在、構造物の設計に際しては、一般に標準の形状寸法の試験片より得られたデータに安全率をかけて設計値を得ている。しかし、上述のような事情から構造部材またはそれをモデル化した試験片についてのデータが得られれば、より有効な設計ができると考えられる。そこで著者らはクリープにおける形状寸法効果について、設計のための基礎的資料を得るために簡単な形状の試験片について研究を進めている。

本報告は、供試材に低炭素鋼を使用して、材質の均一性および等方性を検討した後、板状試験片の平行部距離および板厚を変えて、それらのクリープ破断時間、最小クリープ速度、伸び、絞りおよび破断様式への影響を調べ、丸状試験片および標準試験片の場合を参考しつつ、形状および寸法効果について検討した。

2 供試材および試験片

2・1 供試材および試験片採取方法

供試材は市販の低炭素鋼（直径 200 mm の丸棒で、今後、これを素材丸棒とよぶ。Steel no.1 および 2）

* 原稿受理 昭和47年10月25日

** 金属材料技術研究所 東京都目黒区中目黒

*** 正 会 員 金属材料技術研究所 東京都目黒区中目黒

Table I. Chemical composition, reheat treatment and mechanical properties of steels tested.

Chemical composition	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cu
Steel no. 1	0.17	0.28	0.43	0.024	0.031	0.07	0.18
Steel no. 2	0.16	0.27	0.45	0.023	0.031	0.07	0.18

Reheat treatment
Steel no. 1 920℃×2 hr→AC
Steel no. 2 900℃×2 hr→FC

Mechanical properties	Room temperature					450℃				550℃			
	TS (kg/mm ²)	0.2%YS (kg/mm ²)	Elonga- tion (%)	RA (%)	JIS Grain size	TS (kg/mm ²)	0.2%YS (kg/mm ²)	Elonga- tion (%)	RA (%)	TS (kg/mm ²)	0.2%YS (kg/mm ²)	Elonga- tion (%)	RA (%)
Steel no. 1	50	27	32	60	7	39	18	38	72	—	—	—	—
Steel no. 2	43	21	32	54	4	33	14	43	73	22	10	67	85

を用いた。その化学成分および再熱処理後の機械的性質を Table I に示す。

板状試験片をクリープ試験する場合、試験片平行部の横断面の材質の不均一は試験結果に大きな影響を与える¹¹⁾。そこで、形状寸法効果を調べるに際して、材質の不均一による実験結果への影響が無視し得るほどに材質の不均一を小さくすることが望ましい。本供試材のマクロな材質の不均一さを把握するため、素材丸棒の横断面のサルファプリントを行なったところ、同心円状の偏析が弱くではあるがみられた。そこで、Fig. 1 に示すように、素材丸棒の横断面の同一円周上から

Fig. 1. Cutting plans of specimens from test material.

直径 70 mm の丸棒を切り出し、材質を均一にするように、Table I に示す条件で再熱処理を行なった（この直径 70 mm の丸棒を再熱処理丸棒とよぶ）。再熱処理丸棒より採取した試験片について、引張試験、クリープ試験およびかたさ測定を行なった結果、再熱処理丸棒の横断面内での材質の不均一および再熱処理丸棒内での異方性はほとんどないことがわかった。再熱処理丸棒間での強度の差異は Steel no. 1 では認められなかったが、Steel no. 2 ではやや認められた。なお、板状試験片の板幅方向を素材丸棒の円周方向に一致させた (Fig. 1)。

2・2 試験片

試験片の形状および寸法を Fig. 2 に示す。(a)は板状試験片であり、(b)は丸状試験片である。この図で、 b_0 は板幅、 t_0 は板厚、 L_0 は平行部距離、 d_0 は直径を示す。丸状試験片のなかで $d_0=10$ mm、 $L_0=50$ mm の標準試験片はクリープひずみを測定できるように平行部端にエッジが付いていて、他の丸状試験片とは形状が異なっている。

Fig. 2. Shapes and sizes of specimens.

3 試験方法

Fig. 2(a)および(b)の試験片のうち、 $d_0=5$ mm および 10 mm の丸状試験片は最大荷重容量 3 トンの単式クリープ試験機を使用し、それ以外は最大荷重容量 50 トンの 2 重テコ式の大型クリープ試験機を使用して、クリープ試験を行なった。

クリープひずみは標準試験片の場合には平行部端のエッジに伸び計を取り付けて測定したが、その他の試

験片では上下のコネクタ間の変位を測定し、クリープひずみの近似値とした。

試験温度は450°Cおよび550°Cであり、試験中の温度変動は±2°C以内であった。また、試験片平行部にPR熱電対を埋め込んだ予備試験により、炉内温度が平衡状態になったとき、試験片平行部の表面と内部の温度差が最小目盛 10^{-3} mV では検出されなくなることを確認した。

4 結果および考察

4・1 供試材の材質の均一性および等方性の検討

再熱処理丸棒の横断面のA, C, E (Fig. 1) より軸方向に標準試験片を採取してクリープ試験をした結果および素材丸棒の横断面の半径方向と円周方向に相当する方向（それぞれA-C方向, B-D方向）の再熱処理丸棒のかたさおよび顕微鏡観察の結果、いずれの場合にも再熱処理丸棒の横断面では差異が認められなかった。しかし、Steel no. 1 および 2 の素材丸棒の軸方向、半径方向および円周方向の断面に相当する個所を再熱処理後に顕微鏡観察したところ差異があり、パーライトの偏析がみられた。そこで、Steel no. 2 の素材丸棒の各方向に相当する再熱処理丸棒の各方向より $d_0=5$ mm, $L_0=25$ mm の丸状試験片を採取して (Fig. 1), 引張試験およびクリープ破断試験を行なった。その結果を、標準試験片による結果と合わせて、Table II, Fig. 3 および 4 に示す。引張試験の結果 (Table II) および 3 方向から採取した試験片の応力破断時間曲線 (Fig. 3) はほぼ一致している。クリープ破断試験による絞り (Fig. 4) はばらついているが、半径および円周方向から採取した試験片の絞りは軸方向のものよりも小さな値になっている。しかし、その差はわずかであるので、各方向の試験片は、試験条件が同じであれば、ほぼ等しい変形過程を示すと考

Table II. Tensile strength and reduction of area of specimens cut out from three positions in reheated rods (450°C, Steel no. 2).

Orientations	TS (kg/mm ²)	RA (%)
Longitudinal (E-E)	34	71
Radial (A-C)	34	72
Circumferential (B-D)	34	70

Table III Some examples of result of creep rupture tests on plate specimens (550°C, 9 kg/mm², Steel no. 2).

Specimen no.	b_0 (mm)	t_0 (mm)	L_0 (mm)	b_0/t_0	L_0/t_0	Rupture time (hr)	Elongation (%)	Reduction of thickness (%)
D-2	60	15	150	4	10	131	60	67
A-2	32	8	80	4	10	128	69	66
C-2	60	6	150	10	25	146	69	64
A-4	32	3	80	10.7	26.7	130	54	58

Fig. 3. Comparison of rupture time of standard specimens and round specimens cut out from three positions of bar (Steel no. 2).

Fig. 4. Relations of rupture time versus reduction of area of standard specimens and round specimens cut out from three positions of bar (Steel no. 2).

えられ、本再熱処理丸棒のクリープ変形に対する異方性は本研究を行なう上で問題としなくてもよいと思われる。

4・2 相似則

d_0/L_0 が等しい丸状試験片のクリープ破断試験結果が Fig. 3 および 4 に示されている (○および△印)。それらの図によると、両試験片の応力破断時間曲線はほぼ一致するが、寸法の小さな試験片の破断時間が高応力側でわずかに短時間となっている。この場合に、比較した両試験片の平行部端の形状は異なっているが、試験結果への影響はほとんどないようで、相似試験片と考えてよいであろう。丸状試験片の相似則は破断時間、最小クリープ速度および伸びについて成り立つといわれているが、絞りについても、Fig. 4 で軸方向より採取した試験片について比較すると両試験片ともに

ほぼ等しい値を示すので, 相似則が成立するようである。

板状試験片 (Steel no. 2) のクリープ破断試験の結果の一部を Table III に示す。ここで, 試験片番号 D-2 と A-2 の試験片の形状は相似である。この相似な試験片による試験結果はほぼ同じ値を示しており, 板状試験片についても相似則が成り立つであろうことを暗示している。

4・3 形状および寸法効果

4・3・1 平行部距離 L_0 の影響 平行部の断面の形状および寸法は同じで, L_0 を変えた板状試験片のクリープ試験の破断時間および最小クリープ速度を Fig. 5 に示す。Steel no. 2 の場合には試験片の本数が少ないため充分には評価できないが, 両供試材の試験片ともに L_0 が長くなると破断時間は短くなっている。最小クリープ速度は L_0 の増加に伴って増加の傾向を示している。

Fig. 5. Effects of parallel length (L_0) of plate specimens on rupture time and minimum creep rate.

計算によれば, 軸と直角な方向に2次の正値の応力が加わると軸方向のひずみ速度は減少する。そして, 軸方向の応力に対して2次応力の割合が増加するほどひずみ速度は減少する。本供試材はくびれ発生までに大きな一様伸びを示すが, 試験片のつかみ部近傍で変形が拘束されるため, 軸と直角な板幅方向に引張応力が発生するであろう。この引張応力は L_0 が短い試験片ほど, つかみ部近傍の変形の拘束の影響を強く受け, 大きな値になると考えられる。

Steel no. 1 の試験片について, 最小クリープ速度は Fig. 5 (b) に示したが, さらにクリープ曲線を調べたところ, L_0 が短い試験片ほどクリープ第3期が開始する時間は遅かった。第3期の開始点は局部くびれの発生する時間とほぼ一致するが, この開始点から破断までのクリープ曲線を各試験片について比較すると, L_0 の短い試験片ほど加速クリープ速度の増加の割合は小さく, 破断まで長時間を要していた。これらより, 本実験範囲では, 一様伸びおよび局部くびれの変形時においても2次応力の影響を受けていることがわかった。

4・3・2 板厚 t_0 の影響 板状試験片の b_0 と L_0 を一定にして t_0 を変化した場合の破断時間, 最小クリープ速度, 伸びおよび板厚の減少率 (破断部の板幅の中心での板厚の減少の割合) を Fig. 6 に示す (相似の板状試験片の結果も含めてある)。Fig. 6 (a) および (b) から, いずれの供試材においても, 破断時間および最小クリープ速度に対する t_0 の影響がほとんどないことがわかる。

伸びおよび板厚の減少率は t_0 が小さくなるにしたがって減少している (Fig. 6 (c) および (d))。板状試験片の破断部は複雑な変形をしているため正確に絞りを求めることは困難である。引張試験における板状試験片の板厚の減少率は丸状試験片における絞りを意味するという指摘もあるが, クリープ試験においても, 板

Fig. 6. Effects of thickness (t_0) of plate specimens on rupture time, minimum creep rate, elongation and reduction of thickness.

*1 八木晃一, 未発表。

Fig. 7. Fracture surfaces of round specimens (Steel no. 1).

厚の減少率と丸状試験片の絞りとは破断時間に対して同じ傾向を示すようである。¹¹⁾ 板厚の減少率に対する t_0 の影響は破断部の破断形状と密接な関連がある。Steel no. 1 の板状試験片と丸状試験片の破断部を、軸方向からみた場合の模型図とともに、Fig. 7 に示す。 t_0 が大きい場合には t_0 が小さい場合と比較して、板幅の中心が大きく変形し、四隅が鋭角になっている。

4・3・3 整理法 種々の形状および寸法の試験片についてなされたクリープ試験結果は適切な方法で整理されることが好ましい。丸状試験片の場合には $L_0/\bar{A}$ を変数として、破断時間、最小クリープ速度および伸びが整理できることが報告されている。板状試験片の場合には、引張試験においてであるが、 $L_0/\sqrt{\bar{A}}$ ($\bar{A}$: 断面積) で伸び等の変形特性が整理されている。⁶⁾¹⁹⁾ Table IV は $\bar{A}$ および L_0 が等しい、すなわち $L_0/\sqrt{\bar{A}}$ = 一定の板状試験片および丸状試験片のクリープ試験の結果を示す。おのおのの板状試験片の破断時間および伸びはほぼ同じ値を示しているが、板厚の減少率は断面形状の違いによって異なった値を示している。丸状試験片の破断時間と板状試験片の破断時間とを比較すると、わずかであるが丸状試験片の方が大きな値を示している。この結果に基づいて板状試験片および丸状試験片の全実験結果を、 $L_0/\sqrt{\bar{A}}$ を変数として整理を試みた。破断時間および最小クリープ速度は $L_0/\sqrt{\bar{A}}$ に対して1つの曲線となったが、伸びおよび板厚の減少率はばらつきが大きく、 $L_0/\sqrt{\bar{A}}$ に対して充分効果的には整理できなかった。Fig. 8 は Fig. 5, 6 および Table IV の破断時間および最小クリープ速度

を $L_0/\sqrt{\bar{A}}$ で整理した結果である。図に示すとおり、実験結果は折線で回帰したが、折れ点は破断時間の場合と最小クリープ速度の場合とはやや異なっている。その主たる原因は破断時間が後述のようにき裂の進展時間をも含むためと考えられる。 $L_0/\sqrt{\bar{A}} > 10$ の試験片は比較的長尺な試験片であるといわれている¹⁹⁾が、本実験の板状試験片の場合には、 $L_0/\sqrt{\bar{A}} \leq 6$ では破断時間は $L_0/\sqrt{\bar{A}}$ の増加に伴って減少し、 $L_0/\sqrt{\bar{A}} \geq 6$ では $L_0/\sqrt{\bar{A}}$ の値に関係なく一定値を示している。一方、最小クリープ速度は、 $L_0/\sqrt{\bar{A}} \leq 5$ では $L_0/\sqrt{\bar{A}}$ の増加に伴い増加の傾向を示しているが、 $L_0/\sqrt{\bar{A}} \geq 5$ では $L_0/\sqrt{\bar{A}}$ の値に依存しない。したがって、本実験においては板状試験片について $L_0/\sqrt{\bar{A}} \geq 6$ であれば、破断時間および最小クリープ速度は t_0 , b_0 および L_0 の変化の影響を受けないものと思われる。

Fig. 8. Relations of $L_0/\sqrt{\bar{A}}$ versus rupture time and minimum creep rate.

なお、Fig. 8(a)は丸状試験片におけるクリープ試験結果も示すが、この結果は $L_0/\sqrt{\bar{A}}$ に対して板状試験片の結果と異なる傾向を示している。これはFig. 7に示すように板状試験片と丸状試験片とは変形の様相が異なるためであると思われる。このため、 $L_0/\sqrt{\bar{A}}$ であらゆる断面形状の試験片の破断時間および最小クリープ速度を整理することが困難である場合もあるようである。

4・4 破断様式

板状試験片の破断様式は、 t_0 の影響を強く受けて試

Table IV. Results of creep rupture tests on the specimens, when their areas and parallel lengths are equal to each others (450°C, 23 kg/mm², Steel no. 1).

b_0	t_0	L_0	Rupture time (hr)	Elongation (%)	Reduction of thickness (%)
30	30	150	367	37	44
45	20	150	368	42	49
60	15	150	363	39	52
$d_0 = 33.85^{\phi}$	150	387	40	—	—

*2 折れ点を $L_0/\sqrt{\bar{A}} = 5$ または $L_0/\sqrt{\bar{A}} = 6$ とするかどうかを判定するために両者の場合の有意差検定を行なった。すなわち、 $L_0/\sqrt{\bar{A}} = 6$ を折れ点として直線回帰すると、 $y = -0.01560x + 2.61581$ ($L_0/\sqrt{\bar{A}} \leq 6$), $y = 2.52221$ ($L_0/\sqrt{\bar{A}} \geq 6$) (ここで、 y は破断時間の対数、 x は $L_0/\sqrt{\bar{A}}$ である) となり、不偏分散は 0.0002371 となる。 $L_0/\sqrt{\bar{A}} = 5$ を折れ点として直線回帰すると、 $y = -0.01595x + 2.61138$ ($L_0/\sqrt{\bar{A}} \leq 5$), $y = 2.53163$ ($L_0/\sqrt{\bar{A}} \geq 5$) となり、不偏分散は 0.0003501 となる。不偏分散比 (F_0) は 1.48 となって、危険率 5% の F 検定を行なった場合には有意でなかった。しかしながら、安全側をとる意味で $L_0/\sqrt{\bar{A}} = 6$ とすることがよいと思われた。

験条件により種々に変わるが、本実験範囲内では、 L_0 の影響を受けていない。 t_0 のみを変化させたときの破断様式を観察したところ、Fig. 9 に示す様式に大別できた。450°C の場合、 $b_0/t_0 \leq 10$ では Type A の様式で、cup and cone 型の破断を示したが、 $b_0/t_0 > 10$ では、高応力のとき Type B₁ または Type B₂、そして低応力のとき Type A の様式で、いずれの場合にも板厚方向に 45° 傾いた破断面を示していた。550°C の場合、 $b_0/t_0 \leq 10$ では Type C の破断様式で、繊維状の破断面を示した。 $b_0/t_0 > 10$ では、高応力のとき Type B₁ または Type B₂ の様式で、低応力では Type D の様式を示した。

Fig. 9. Types of fracture mode of plate specimens.

Fig. 10. Some examples of appearances of plate specimens ruptured ($b_0=60$ mm, $t_0=3$ mm, $L_0=150$ mm).

Fig. 10 にクリープ破断試験した $b_0=60$ mm, $t_0=3$ mm の板状試験片の破断部近傍の 1 例を示す。 $b_0/t_0 > 10$ の試験片ではくびれ部の引張軸近傍では同軸に対してほぼ直角に破断しているもの（たとえば(a)）も多くみられ、この部分は酸化の状態から最初に破断したように思われる。引張試験において板状試験片のくびれ部の応力分布が推定されているが、その場合に八面体せん断応力および最大せん断応力はともに引張軸上で最大値となっている。本報告の実験結果からクリープ試験の場合にもこの結論が適用できそうにみえる。

しかし、クリープ破断がどのような応力条件によって生じられるかは本報告の範囲内では明らかでない。試験片には破断部の変形を知るために耐熱塗料（関西ペイント製、テルモスーパ 600）を塗布し、試験前にケガキ線を 5 mm 間隔に引いた。破断後の試験片の板厚をケガキ線の交点で測定し、その値から等厚部分を求め、図中に実線で示す（等厚線とよぶ）。ここで各等厚線に添えた数字は $(t_0-t)/t_0$ の値である（ t ：破断後の板厚）。これら等厚線は破断部より離れるにしたがって板厚が厚くなることを示すとともに、破断前の変形が図中破線で示すような傾向であったことを暗示している。破線で示すように交さして変形していた部分の一方が他方よりも変形が進んだ結果、図に示す引張軸に対して傾き（ θ ）を有する破面が形成されたのであろう。この傾きをもつ破面は薄板状試験片の引張試験でもみられ²¹⁾²²⁾、平面応力状態におけるすべり線によって生ずる局部くびれと関連づけて定性的に説明できるように思われる。Fig. 11 は 550°C, 9 kg/mm² の場合の t_0 のみを変化させた板状試験片の破断後の θ と t_0 の関係を示す。 $b_0/t_0 \leq 10$ の場合には $\theta=90^\circ$ であるが、 $b_0/t_0 > 10$ の場合に、 $\theta=60^\circ$ を示したが、一部の試験片では引張軸近傍で同軸に対して $\theta=90^\circ$ の部分があるものもあった。しかし、破面が引張軸に対して傾く現象は 450°C の場合に、20 kg/mm² ではみられず、応力が高い 23 および 26 kg/mm² ではみられ、高応力になるほど顕著であった。そして、いずれの温度でも低応力になると、この現象がみられなくなった。これは平面応力状態におけるすべり線によるくびれの進展がクリープ変形速度と関連していて、変形速度が早い場合には選択的に特定のくびれが促進されるためと思われる。

Fig. 11. Effects of thickness (t_0) on obliquity (θ) to the axial direction ($b_0=60$ mm, $L_0=150$ mm, 550°C, 9 kg/mm², Steel no. 2).

4・5 板状試験片と標準試験片の応力破断時間曲線の比較

設計資料を得るため、一般に多く使用されている標準試験片のクリープ試験結果と板状試験片の結果を比較した。両試験片の応力破断時間曲線の比較を Fig. 12 に示す。450°C の場合には両供試材ともに両試験片の

Fig. 12. Comparison of rupture time of standard specimens and plate specimens.

応力破断時間曲線はほとんど一致している。図でみられるわずかな違いは比較した両試験片の $L_0/\sqrt{A}$ の値が異なることと断面が丸状と板状であることが原因であると考えられる。

550°C の場合も高応力側では 450°C の場合と同じ結果を示すが、低応力になるにしたがって二つの応力破断時間曲線は交差し、両試験片間の関係は逆転する。550°C、長時間で破断した試験片を観察したところ、破断時間に対して酸化が強く影響しているようにはみえなかった。板状試験片の破断後の形は Fig. 9 の Type D の破断様式を示しており、低応力になるほど引張軸近傍に生ずる板幅方向の長た円型の開口量の板幅に対する割合が増していた。この板幅方向の開口は試験片にくびれが発生した後、引張軸近傍に生じたき裂が、低荷重のため急速な成長そして破断に至らず、ゆっくり板幅方向へ成長し、ある限界応力になって破断したために生じたものと思われる。一方、標準試験片の破断部は高応力側と同じ引張軸に直角な繊維状の破面を呈していた。これらのことから、板状試験片ではき裂の成長時間が無視できなくなり、低応力になるほどその破断時間は、標準試験片に比して、長くなるものと考えられる。

5 結 論

材質の均一性および等方性に関して検証した低炭素鋼を使用して、主として板状試験片の破断時間、最小クリープ速度、伸び、板厚の減少率および破断様式に対する形状および寸法効果について検討した結果、次の知見を得た。

(1) 相似な丸状試験片相互間および相似な板状試験片相互間においては破断時間および変形特性は一致し、相似則が成立するようである。

(2) 板状試験片の板幅 (b_0) を一定にした場合、破断時間に対して平行部距離 (L_0) は影響を与えるが、板厚 (t_0) の影響は小さい。しかし、伸びおよび板厚の減少率に及ぼす t_0 の影響は大きい。

(3) 種々の形状および寸法の板状試験片の破断時間と最小クリープ速度とは $L_0/\sqrt{A}$ (A : 断面積) を変

数として整理できた。しかし、伸びおよび板厚の減少率は $L_0/\sqrt{A}$ では充分効果的に整理できなかった。

板状試験片の破断時間は $L_0/\sqrt{A} \leq 6$ では $L_0/\sqrt{A}$ の増加にしたがい減少するが、 $L_0/\sqrt{A} \geq 6$ では一定値を示した。丸状試験片の破断時間は $L_0/\sqrt{A} \leq 6$ で増加の傾向を示し、板状試験片の場合とは異なっていた。板状試験片の最小クリープ速度は $L_0/\sqrt{A} \leq 5$ では $L_0/\sqrt{A}$ の増加にしたがい増加するが、 $L_0/\sqrt{A} \geq 5$ では一定値となった。したがって板状試験片の場合に $L_0/\sqrt{A} \geq 6$ であれば、破断時間および最小クリープ速度に対する t_0 , b_0 および L_0 の変化の影響は小さいと思われる。

(4) $b_0/t_0 > 10$ の板状試験片で、クリープ変形速度が早い場合には、破面と板幅面との交線は引張軸と約 60° の角度をなす。ただし、引張軸近傍では同軸に対して直角な部分がある場合もある。

(5) 高温・低応力になると標準試験片の破断時間に対する板状試験片の破断時間の関係が、低温・高応力の場合の関数と異なっていたが、高温・低応力の場合の板状試験片においてはくびれ時にできるき裂の成長時間が無視できなくなることが推論された。

(昭和47年10月6日 第11回高温強度シンポジウムにて講演)

参 考 文 献

- 1) Beare, T. H., Engineering, **112**, 389 (1921).
- 2) Miklowitz, J., J. Appl. Mech., **15**, 274 (1948).
- 3) Miklowitz, J., J. Appl. Mech., **17**, 159 (1950).
- 4) 石橋 正, 日本機械学会論文集, **21**, 786 (1955).
- 5) 石橋 正, 日本機械学会論文集, **22**, 827 (1956).
- 6) 吉田清太, 日本機械学会誌, **67**, 446 (1964).
- 7) 宮野三郎, 宮川松男, 日本機械学会誌, **68**, 1546 (1965).
- 8) Manjoine, M. J., Trans. ASME, Series D, **84**, 220 (1962).
- 9) Coutts, Jr., W. H., and J. W. Freeman, Trans. ASME, Series D, **84**, 222 (1962).
- 10) Goldhoff, R. M., Joint International Conference on Creep, Inst. of Mech. Engrs., 4-19 (1963).
- 11) 八木晃一, 久保 清, 田中千秋, 福本 保, 学振 123 委員会研究報告, **13**, 1 (1972).
- 12) 芥川 武, 藤田利男, 日本機械学会誌, **61**, 373 (1958).
- 13) Shahinian, P., and J. R. Lane, Proc. ASTM, **49**, 724 (1955).
- 14) 岡根 功, 稲垣道夫, 溶接学会誌, **37**, 621 (1968).
- 15) 岡根 功, 稲垣道夫, 溶接学会誌, **37**, 978 (1968).
- 16) Taira, S., and R. Ohtani, "Advances in Creep Design", 289 (1971) Applied Science
- 17) Abo El Ata, M. M., and I. Finnie, "Creep in Structure 1970", 80 (1972) Springer-Verlag
- 18) 石橋 正, "設計を主とした金属の強さ", 233 (1968) 養賢堂
- 19) 寺田泰治, 佐藤二郎, 寺沢一雄, JSSC, **8**, No. 77, 6 (1972).
- 20) Aronofsky, J., J. Appl. Mech., **18**, 75 (1951).
- 21) Ono, A., Proc. Japan Acad., **44**, 507 (1968).
- 22) 山田嘉昭, "金属材料の強度と破壊", 159 (1964) 丸善