

<論 文>

모아레法을 活用 比較한 오우스테나이트系 SUS 27의 크리이프舉動

邕 章 祐* · 李 訓 周**

(1982년 10월 5일 接受)

The Creep Behavior of Austenitic SUS 27 by Moire Method

Chang Woo Ong and Hun Joo Lee

Abstract

This study practiced to observe the creep behavior at specific temperature on Austenitic SUS 27 stainless steel by Moire method.

The results obtained from this study are summarized as follows;

In tensile experiment, tensile strength and yielding strength decrease as the temperature increases. Yielding strength is equivalent to 60~70% of tensile strength.

Reduction of Area and Elongation show minimum values at 300°C.

The results of Moire method using Moire heating resisting grid coincide with LVDT result.

Therefor, It is proved that the Moire method has great merit in strain measurement of a creep behavior.

In homologous at temp. 0.2 or less, creep behavior is very small amount. But, in more than 0.3, creep behavior is very active.

Creep rate increase as temperature increase and creep rate is proportional to α values of experimental equation.

1. 序 論

크리이프舉動을 糾明하는 것은 各種 材料의 力學的 量을 決定하는데 相當히 重要하며 많은 實驗研究가 이루어졌다. (1,2,3) 그러나, 크리이프舉動은 高溫에서 變形率의 測定이 어려운 實驗上的 難點때문에 有限要素法에 依한 解析的인 結果와 크게 符合되지 않았었다. 따라서, 本 研究는 高溫設備材料인 오우스테나이트系 SUS27로 常溫에서 500°C까지 引張試驗과 크리이프試驗을 實施하였다.

物히 크리이프舉動의 測定을 모아레方法을 適用하여

從前的 測定方法과 比較檢討하고 高溫에서 使用될 수 있는 모아레格子⁴⁾를 製作하여 高溫下에서 微小領域의 微小變形率(Small Strain)의 測定可能性을 究明하였다.

2. 實驗方法

2.1. 試驗片

材料는 市板 4mm 板材의 오우스테나이트系 SUS 27로써 成分 및 機械的 性質은 Table 1, 2과 같다.

Fig. 1은 製作된 3種 試驗片의 形狀 및 치수(ASM·E-150-64)를 表示한다.

製作된 試驗片은 加工後의 殘留應力을 除去하기 위하여 熱處理하였다. 試驗片의 表面에는 photo-resisting grid를 printing하고 etching을 하였다. 製作된 모아

* 正會員, 忠南大學校 工科大學

** 正會員, 忠南大學校 工科大學 大學院

Table 1 Chemical composition.

Cr	Ni	Mn	Si	Co	V	Cu	C	Mo	P	S
19.3	8.25	0.71	0.56	0.174	0.096	0.078	0.051	0.06	0.022	0.012

Table 2 Mechanical properties.

Tensile stress kg/mm ²	74.2
0.2% proof stress kg/mm	48.1
Elongation %	61.5
Reduction of area %	65.2
Fracture stress kg/mm	65.5
Brinell hardness (HB)	167

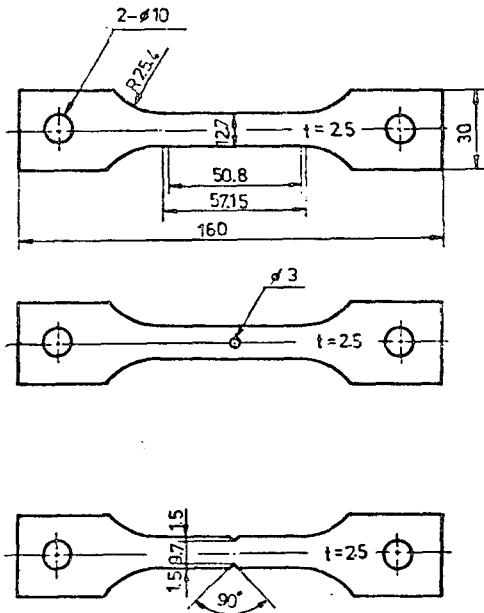


Fig. 1 Specimen configuration (ASTM-E).

레용格子는 그 間隔이 X-Y 方向(Cross)에 1/1000 inch의 耐熱格子이다.

이렇게 製作된 耐熱 모아레格子의 斷面은 Fig. 2와 같다.

2.2. 實驗方法

各 溫度에서의 引張試驗 및 크레이프試驗은 SCR 式 連續制御方式을 採用한 UTM(model UTM-1-10, 000C)을 使用하였으며 高溫度環境은 큰 Peep hole이 달린 電氣抵抗加熱式 高溫爐를 使用하여 溫度不均 $\pm 1^{\circ}\text{C}$

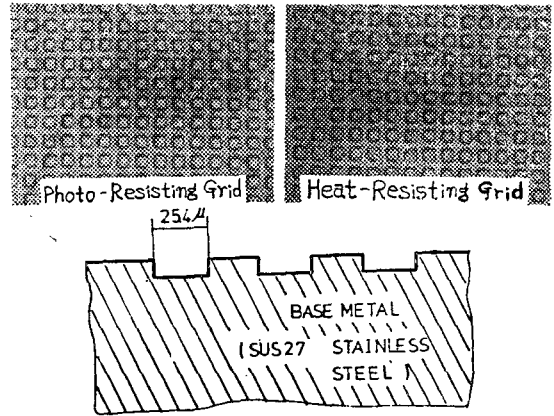
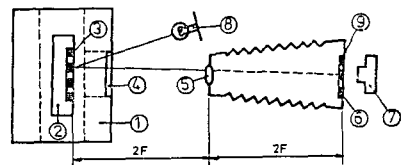


Fig. 2 Cross section of heat-resisting moiré grid and microphoto graphs of moiré grid.

以內에서 實驗을 實施하였다. 引張試驗의 實驗速度는 2mm/min 로 一定하게 하였고 크레이프試驗은 빠른 速度로 引張을 한 다음 初期變率 以後에 測定을 하였다. 變位測定裝置로서는 1.25μ 程度까지 測定할 수 있는 레버式 裝置를 設置하였고, 또한 下部 크로스헤드(cross head)에 變位計를 設置하여 6μ의 精密度로 記錄하도록 하였다.

모아레법에 依한 크레이프變形率測定裝置는 Fig 3과 같다.

나타난 모아레 fringe는 荷重을 加한 後 1時間까지는 30分마다, 그 後에는 1時間 혹은 2時間 마다寫眞攝影을 하였다. 이때 misalignment는 zero 로 하고



- ① Electric furnace
- ② Specimen
- ③ Heat-resisting grid
- ④ Crystal window
- ⑤ Lens
- ⑥ Reference grid
- ⑦ Camera
- ⑧ White light source
- ⑨ Screen

Fig. 3 Schematic view of apparatus for strain measurement by moiré method.

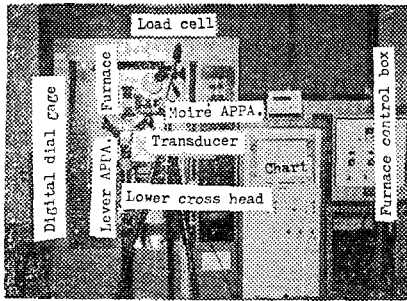


Fig. 4 Apparatus for creep strain measurement at high temperature by moiré method.

mismatch는 適切히 變化시켰다. Fig. 4는 實驗裝置를 나타낸다.

實驗條件은 常溫에서 500°C까지 Table 3과 같은條件으로 크리프實驗을 하였다.

Table 3 Case of experiments.

Exper No.	Mode of load	Shape of specimen	Temp. (°C)	Time (h)	Load condition (kg/mm ²)
1	Tensile	Smooth	25	20	$\sigma_{net} : 25$
2	Tensile	Smooth	100	20	$\sigma_{net} : 25$
3	Tensile	Smooth	200	20	$\sigma_{net} : 25$
4	Tensile	Smooth	300	20	$\sigma_{net} : 25$
5	Tensile	Smooth	400	20	$\sigma_{net} : 25$
6	Tensile	Smooth	450	20	$\sigma_{net} : 25$
7	Tensile	Smooth	500	20	$\sigma_{net} : 25$
8	Tensile	Hole	25	20	$\sigma_{net} : 25$
9	Tensile	Hole	300	20	$\sigma_{net} : 25$
10	Tensile	Vee	25	20	$\sigma_{net} : 25$
11	Tensile	Vee	300	20	$\sigma_{net} : 25$

모아레 fringe의 解析은 定量的인 變形率의 解析을 얻기 위하여 各各 mismatch를 加한 狀態로 撮影한 寫眞의 film을 20倍 projector (MTTA-1-1)로 擴大하여 모아레 fringe間隔을 마이크로미터(micrometer)로 測定한 後 이 測定值를 1agrange의 5點보간에 依하여 一定間隔으로 fringe次數를 整理하고 最小自乘法(5點利用의 3次曲線)을 使用하여 變位曲面을 求하고 曲面의 tangent值로부터 變形率(ϵ)을 $\epsilon = 1 - (1 + \lambda) \cos\theta + (1 + \lambda) \times \Delta N / \Delta y / m$ 의 式을 써서 算出하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3.1. 引張強度에 미치는 溫度의 影響

各 溫度에서의 引張實驗結果의 應力—變形率 線圖는 Fig. 5와 같다.

實驗結果에서 引張強度, 降伏限強度, 斷面收縮率, 延伸率 등에 미치는 溫度의 影響은 Fig. 6과 같다.

實驗結果에서 引張強度는 溫度가 增加함에 따라 減少하며 300°C부터는 漸次的으로 減少率이 鈍化되고 있으며 降伏強度는 溫度의 增加에 따라서 거의 直線的으로 減少하고 延伸率과 斷面減少率은 溫度增加와 함께 減少되어 300°C附近에서는 脆性으로 因하여 最小值가 되

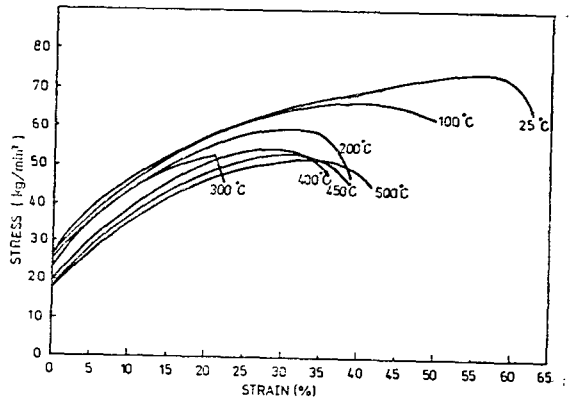


Fig. 5 Tensile stress curves as a function of temperature.

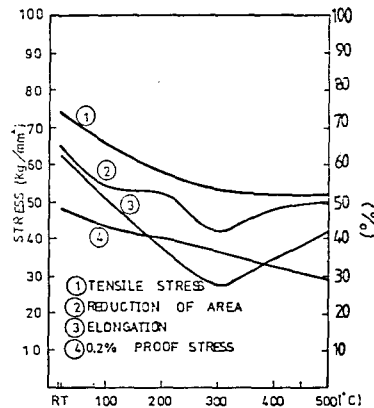


Fig. 6 Influence of temperature on the tensile properties.

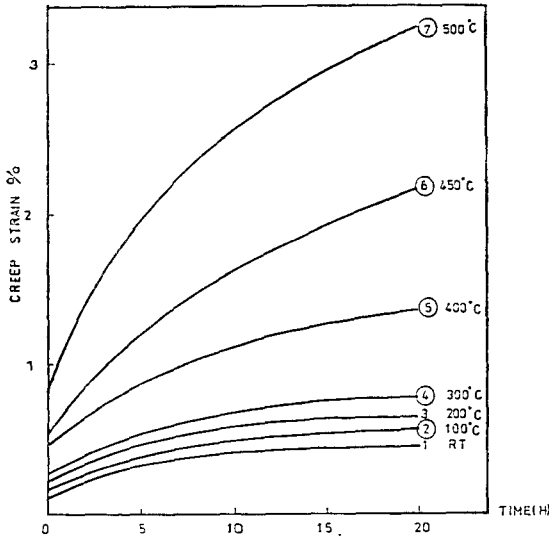


Fig. 7 Creep strain as a function of time.

고, 그 이상에서는漸次增加하였다. 이와같은結果는 J.M. Steichen 및 R.W. Swindeman의 값과 거의一致하였다⁽⁵⁾.

3.2. 크리이프舉動에 미치는 溫도의 影響

定荷重 크리이프實驗結果로부터 크리이프變形率—時間關係를求하여圖示한結果는 Fig. 7과 같다.

Fig. 7에서一定荷重이常溫에서作用하였을 때 생기는 크리이프變形率은降伏點以下에서의荷重時作用한時間과는 거의關係가 없이一定한 값을維持하여時間의經過와 더불어漸次로增加한後一定한 크리이프變形率로安定되는 것으로 나타났다. 이와같은現象은 100°C, 200°C, 300°C에서도 같은 경향을 나타내었으나比較的 큰 크리이프舉動은 400°C程度以上에서 일어나며溫度가增加함에 따라 크리이프舉動이 현저함을 나타내고 있다. 이는活性化에너지로高溫에서의熱振動이 커져擴散이活潑해지는데基因된다고解析된다.

(1) Creep strain과 Creep rate에 미치는 溫도의 影響
常溫에서 300°C까지는熔融點溫도와實驗溫도의比인 homologous temp (T/T_m)가 0.02~0.2範圍이므로 transient 크리이프變形率은 Sherby, Lyton and Dorn의實驗式에서

$\epsilon = \alpha \ln t + c$ 로數式化할 수 있고 크리이프舉動이活潑한溫度 500°C에서는 homologous temp(T/T_m)가 0.4이므로 Conrad, Robertson의式⁽⁶⁾에서 transient 크리이프變形率은 $\epsilon = \alpha \ln(1+ut)$ 로數式化할 수 있다.

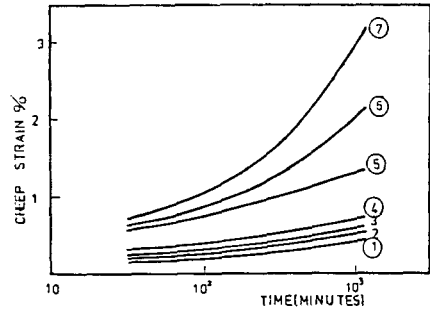


Fig. 8 Logarithmic creep curve.

윗式에서常數 α 와 c 를求하기 위해서實驗結果를 Logarithmic Curve形態로圖示한結果는 Fig. 8과 같다.

Fig. 8에서實驗結果에對하여求한 α 와 c 값을圖示하면 Fig. 9(1)과 같다.

크리이프舉動에對한速度論에依하여 Primary 크리이프區間에서도 Secondary Creep rate式을適用시켜各溫度에서의 Creep rate를 Fig. 8에서求하면 Fig. 9(2)와 같다. Fig. 9에서 (1), (2)를比較하면 Creep rate와 Creep strain式의 α 가 서로比例하는相關關係가 있음을 알 수 있다.

(2) 應力變化에 미치는 溫도의 影響

크리이프現象이發生됨에 따라應力の變化를 일으킨다.

지금試驗片이一定한體積을維持한다고假定하면 true stress σ 는 $\sigma = \sigma_0 e^\epsilon$ 로表示된다. Fig. 10은 Fig. 7에서 ϵ 를求하여 400°C, 450°C, 500°C의 true stress를圖示한 것이다.

(3) 모아레方法에依한測定結果의比較

室溫에서使用되는 photo-resisting grid는 100°C以上의高溫下에서는燃燒되어使用할 수가 없으므로高溫範圍에서의 크리이프舉動을觀察하기爲하여 photo-

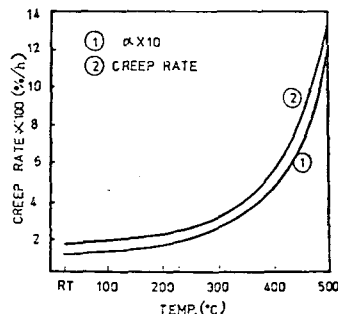


Fig. 9 Creep rate and α as a temperature.

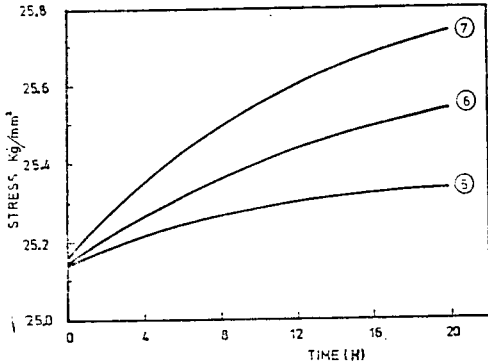


Fig. 10 Stress change as a temperature.

resisting grid가 塗布되어 있는 試片을 Etching 溶液에서 電解研磨하여 Heat-resisting grid를 製作하여 實驗하였다. 이 試片은 實驗結果 300°C 以下の 溫度下에서는 長時間 使用이 可能하였다. 그러나, 400°C에서는 10時間, 500°C에서는 1時間程度經過하면 酸化가 일어나 grid가 消失되어 모아레方法에 의한 測定이 不可能하다.

LVDT에 의한 測定値와 모아레方法에 의한 測定値를 測定比較한 結果 常溫에서 200°C까지는 300°C에서보다 誤差範圍가 작게 나타났다.

여기서, 誤差範圍가 最大로 나타난 溫度 300°C에서 두 測定方法에 의한 結果는 Fig. 11과 같다. 그림에서 모아레方法에 의한 測定結果는 Fig. 11 ①과 같고,

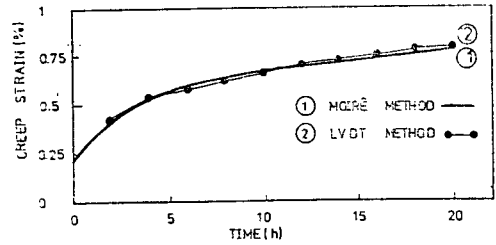


Fig. 11 Comparison of moiré method and lvdt method.

LVDT方式에 의한 結果는 Fig. 11(2)와 같다.

Fig. 11에서 LVDT方式에 의한 結果와 모아레方法과는 잘 一致되고 있으며 LVDT方式보다 모아레方法에 의한 크리프測定이 精度가 높아 모아레方法이 信賴性이 있음을 立證한다.

(4) 모아레方法에 의한 微小領域部の 變形測定을 爲하여

Notch材(圓孔 V)試片에 對하여 300°C에서 크리프 變形된 微小領域部の 變形을 測定하기 爲하여 Moiré Fringe를 撮影한 寫眞은 Fig. 12이다.

Fig. 12에서 (a)는 3時間 經過後, (b)는 10時間 經過後, (c)는 20時間 經過後를 表示한다. 또한 時間의 經過와 더불어 fringe 間隔이 좁아지고 있어 變形의 進行을 明確히 알 수 있다.

Fig. 13은 6時間 經過後 試驗片의 Notch 先端으로부터 軸 直角方向의 微小領域 位置에 對한 軸 方向 變形率을 求하여 表示한 것이다.

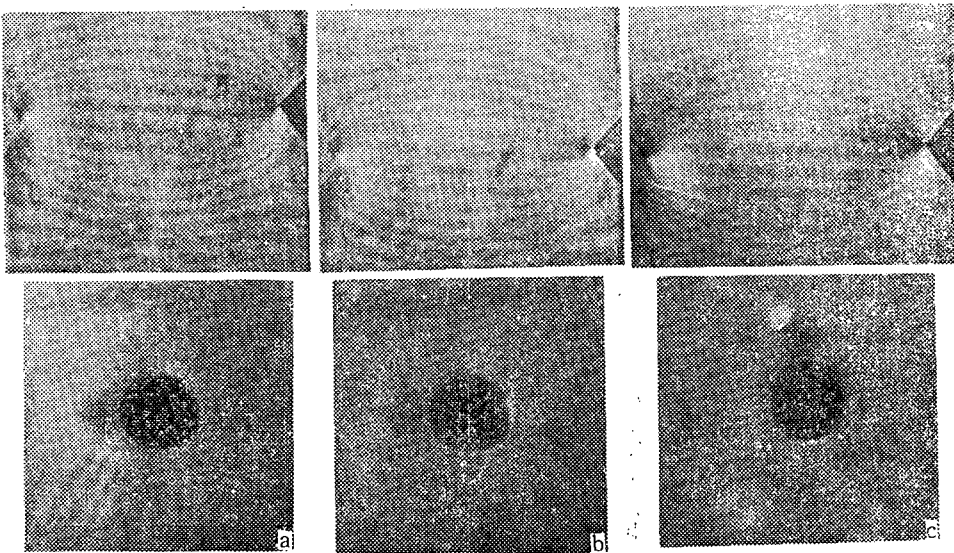


Fig. 12 Moiré fringe pattern.

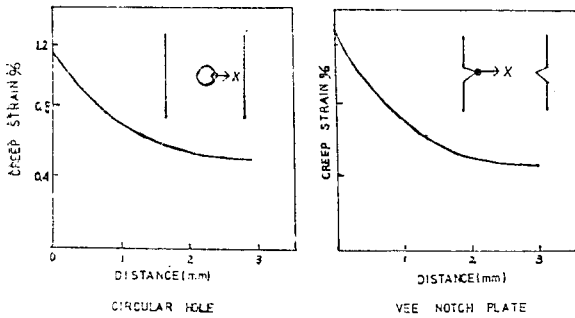


Fig. 13 Creep strain distribution-Y direction.

Fig. 13에서 微小領域의 變形率을 明確히 알 수 있으며 노치先端部에서 變形率은 큰 값으로 分布되었음을 알 수 있다. 測定結果 中心部の 最大 變形率은 mean strain에 比하여 圓孔이 있는 境遇에는 1.8倍, V.Notch가 있는 境遇에는 1.9倍 程度로 나타났다. 지금 $\sigma = \sigma_0 e^{\alpha}$ 을 使用하여 應力集中의 程度를 나타내는 形狀係數 α' 를 求하면 $\alpha' = e^{0.8\alpha}$ or $e^{0.9\alpha}$ 이므로 各各 α' 는 2.23, 2.46이다. 이 값은 SaSaki⁽⁷⁾의 값과 매우 유사하다.

4. 結 論

常溫에서 부터 500°C까지 오우스테나이트系 SUS 27을 使用하여 引張試驗과 모아레方法을 活用 比較한 크리프試驗 結果는 다음과 같다.

(1) 引張試驗의 引張強度와 降伏強度는 溫度가 增加함에 따라 減少되고 降伏強度는 引張強度의 60~70%에 達했다.

(2) 斷面減少率과 延伸率은 300°C 內外에서 最小가

되고 있다.

(3) 모아레耐熱格子를 製作하여 모아레方法을 300°C에서 適用한 結果 모아레方法에 依한 測定値와 LVDT에 依한 測定値는 잘 一致되고 있으나 모아레方法에 依한 結果가 더욱 精度가 높았다.

(4) 모아레方法을 活用하면 微小領域의 變化率을 明確히 測定할 수 있어 變形率分布를 正確히 알 수 있다.

(5) 오우스테나이트系 SUS 27 스테인레스鋼은 homologous temp(T/T_m)가 0.2 以下인 範圍에서는 크리프舉動이 매우 微小하나 0.3 以下인 境遇는 대단히 活潑함을 나타낸다.

(6) Creep rate는 溫度의 增加에 따라서 增加하는 現象을 보이고 應力變化와 密接한 關係가 있다.

References

1. Roberts, J.M., and Brown, N. 1963, Acta Met, 11, 7.
2. Garofalo, F. Domis, W. and Gemmingen. F. 1964, Trans. AIME. 230, 1460.
3. Dorn, J.E. 1956, NPL Symposium; London H.M. S.O. 9, 89.
4. H. Shimada and M. Obata, Technology Reports 1971. Tohoku Univ. Vol. 36, No. 2.
5. J.M. Steichen 1973, Transactions of the Asme.
6. Conrad, H. and Robertson, W.D. 1957, Trans. AIME, 209, 503.
7. E. Sasaki, 1978. Transaction of National Research Institute Vol. 20, No. 2.