

Экспериментальное исследование ползучести металлов на круговых траекториях нагружения

д.т.н. проф. Охлопков Н.Л., д.т.н. проф. Гараников В.В.

ТвГТУ

8(4822) 44-44-02, mexanika06@mail.ru, 8(4822) 52-63-63, kafsm@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты экспериментального исследования ползучести сплава АК-8 на круговых траекториях нагружения. Обнаружена ползучесть на участках, где реализуется активный процесс нагружения.

Ключевые слова: эксперимент, сложное нагружение, ползучесть, активный процесс.

В статье представлены результаты экспериментального исследования ползучести сплава АК-8 на круговых траекториях нагружения. Программа предусматривала остановки нагружения через каждую четверть окружности с целью изучения ползучести в этих точках. Также в работе представлены результаты опытов по исследованию влияния разгрузки на ползучесть данного сплава.

Экспериментальные исследования пластичности и ползучести при сложном нагружении проводились на автоматизированном расчетно экспериментальном комплексе СН-ЭВМ [4]. Методика проведения экспериментальных исследований пластичности и ползучести при сложном нагружении подробно описана в монографиях [1, 2]. Эксперименты выполнены на тонкостенных круговых цилиндрических оболочках.

Испытания проводились в пространстве напряжений. В работе приведен эксперимент по прямому наблюдению ползучести на круговых траекториях нагружения. Программа испытаний реализует условия $\sigma = \text{const}$ и $S_{ij} \neq \text{const}$ (рисунок 1а).

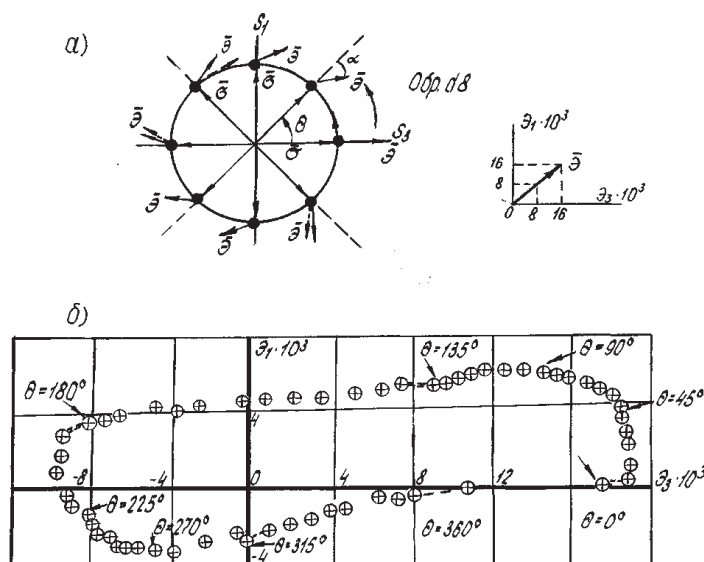


Рисунок 1. Программа испытаний на ползучесть и траектория деформаций

Предварительное нагружение осуществлялось кручением до уровня $S_3=230$ МПа, а затем реализовывалась программа сложного нагружения по криволинейной траектории нагружения постоянной кривизны. Данная программа предусматривала остановки нагружения через каждую четверть окружности, с целью изучения ползучести в этих точках. При этом комплекс СН-ЭВМ работал в пространстве напряжений и в автоматизированном режиме поддерживал режим $\sigma = \text{const}$. Угол θ (рисунок 1а) отсчитывался от направления оси S_3 против часовой стрелки.

Отклик на реализованную программу представлен в виде траектории деформации (рисунок 1б), где стрелками с значением угла θ отмечены моменты начала остановки нагружения и начала режима поддержания постоянного напряжения. Ползучесть обнаруживается в точках $\theta=0^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 315^\circ, 360^\circ$. То есть в тех точках, где реализуется активный процесс нагружения. На траектории деформации (рисунок 1б) процесс ползучести отмечен пунктирными линиями. На траектории нагружения в точках остановки процесса (рисунок 1а) на концах вектора напряжений $\bar{\sigma}$ отложен вектор деформаций $\bar{\varepsilon}$. В точках $\theta=135^\circ, 180^\circ, 315^\circ$ на рисунке показаны по два вектора деформаций, в начале (пунктиром) и в конце испытания на ползучесть (сплошной). Ползучесть приводит к некоторому уменьшению угла между векторами напряжений и деформаций (α).

На рисунке 2 представлены кривые ползучести для точек траектории нагружения, где обнаружена ползучесть. Ползучесть носит ограниченный характер, причем деформация ползучести в окружном направлении (ε_{12}^p) превышает деформацию ползучести в осевом направлении (ε_{11}^p). Данное обстоятельство можно объяснить начальной анизотропией сплава АК-8, механические характеристики при растяжении выше, чем при кручении.

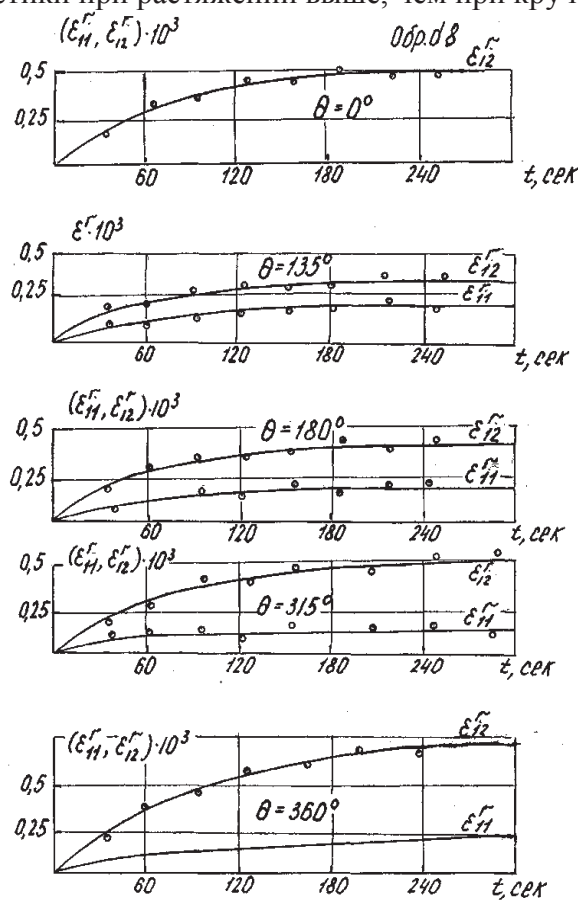


Рисунок 2. Кривые ползучести

Интерес, на наш взгляд, представляет рассмотрение вопроса проявления ползучести с энергетической точки зрения. При угле сближения $\nu_1 < 90^\circ$ элементарная работа напряжений положительна, что отвечает активному процессу деформирования. На рисунке 3 представлена зависимость изменения угла сближения ν_1 от приращения длины дуги траектории деформаций. Из рисунка видно, что в точках, где не обнаружена ползучесть на круговой траектории нагружения (точки $\theta=45^\circ, 90^\circ, 225^\circ, 270^\circ$) угол сближения $\nu_1 \approx 90^\circ$, т.е. процесс близок к разгрузке.

Влиянию разгрузки на ползучесть материала при сложном нагружении посвящена заключительная часть данной серии испытаний. Программы испытаний представлены на рисунке 4.

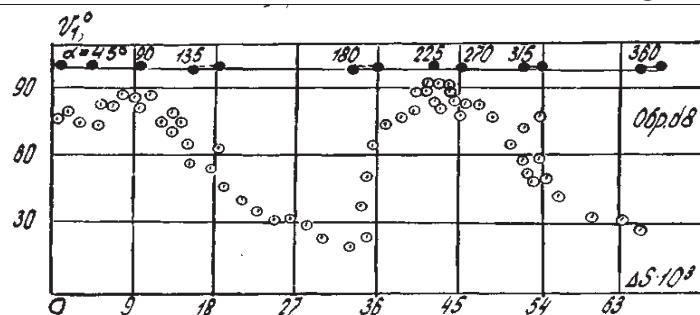


Рисунок 3. Зависимость изменения угла сближения

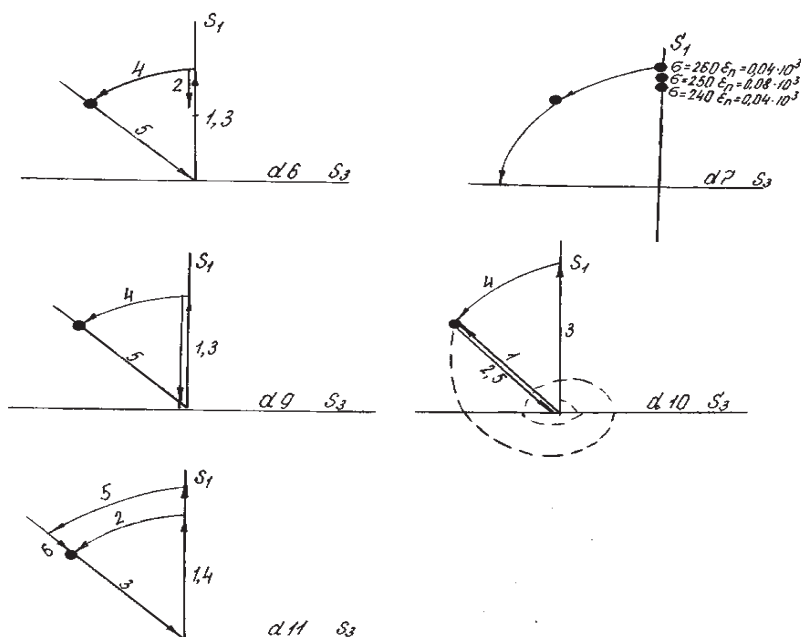


Рисунок 4. Программы испытаний

Влияние частичной и полной разгрузки изучалось по результатам испытаний образцов d6, d7, d9. Образец d7 предварительно нагружался до $S_1=250$ МПа, затем реализовано сложное нагружение по кривой постоянной кривизны до точки соответствующей четверти окружности, в которой нагружение прекращалось и поддерживалось постоянное напряжение $\sigma = \text{const}$. Влияние частичной и полной предварительной разгрузки изучалось на образцах d6, d9. После предварительного простого нагружения до $S_1=230$ МПа и разгрузки в обратном направлении частичной (d6) и полной (d9) производилось сложное нагружение по окружности до точки, где исследовалась ползучесть. Результаты испытаний представлены на рисунке 5a. Как видно из данного рисунка, наименьший уровень ползучести отвечает испытаниям с частичной разгрузкой.

Несколько меньший уровень деформации ползучести при испытании без разгрузки, в сравнении с результатами испытаний с полной разгрузкой, можно объяснить разбросом экспериментальных данных, что характерно для испытаний на ползучесть. Кроме того, при испытании образца d7 при предварительном нагружении на разных уровнях напряжения производилась выборка ползучести, что не могло не отразиться на результатах эксперимента.

Влияние сложного нагружения на ползучесть изучалось по результатам испытаний образцов d10, d11 (рисунок 5). Образец d10 испытывался по программе простого нагружения (участок 1). В ту же точку, где исследовалась ползучесть, выходили по программе сложного нагружения (образец d11 – участок 1, 2). Сравнение кривых ползучести (рисунок 5) показывает, что деформации ползучести при сложном нагружении несколько меньше чем при простом.

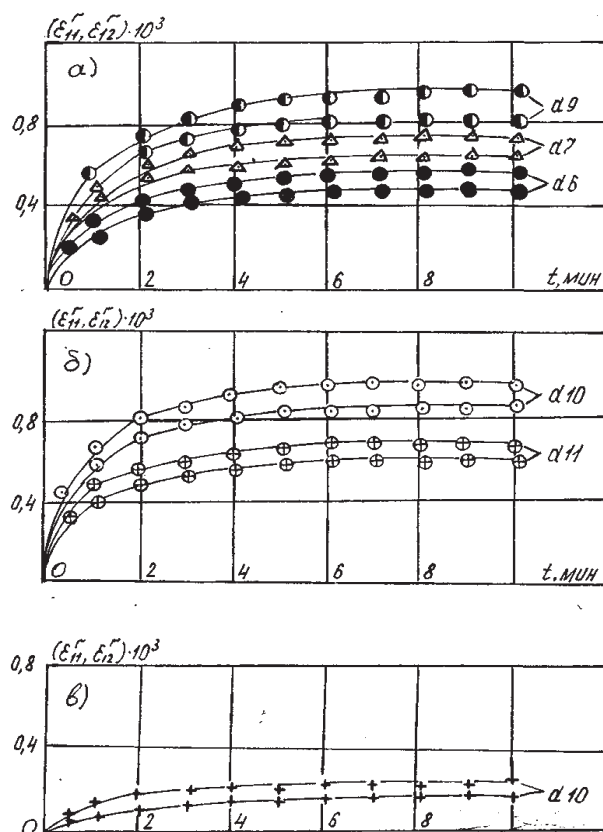


Рисунок 5. Кривые ползучести при различных условиях нагружения и разгрузки

Влияние сложной разгрузки было изучено при повторных испытаниях образцов d10, d11 (рисунок 4). В этом случае уровень предварительного нагружения был выше, чем при первичных испытаниях и составлял $S_1=280$ МПа. Сложная разгрузка реализована на образце d10 (участок 4), по траектории в виде архимедовой спирали. В точке соответствующей четверти окружности $R=230$ МПа разгрузка прекращалась и поддерживалось постоянное напряжение $\sigma=\text{const}$. Пропорциональная разгрузка реализована на образце d11, который также испытывался повторно. После предварительного нагружения $S_1=280$ МПа и нагружения по дуге окружности (участок 5) производилась простая разгрузка (участок 6) в исходную точку, где исследовалась ползучесть. Оказалось, что при сложной разгрузке наблюдается ползучесть, в отличие от простой, где она не обнаруживалась (рисунок 5б).

Литература

1. Зубчанинов В.Г. Экспериментальная пластичность: Монография. Книга 1: Процессы сложного деформирования / В.Г. Зубчанинов, Н.Л. Охлопков, В.В. Гараников.- Тверь: ТГТУ, 2003, 172 с.
2. Зубчанинов В.Г. Экспериментальная пластичность: Монография. Книга 2: Процессы сложного нагружения / В.Г. Зубчанинов, Н.Л. Охлопков, В.В. Гараников.- Тверь: ТГТУ, 2004, 184 с.
3. Гараников В.В. Микроползучесть конструкционных материалов в условиях различных температур: монография.- Тверь: ТГТУ. 2011. 76 с.
4. Зубчанинов В.Г. Автоматизированный комплекс для исследования упруговязкопластических свойств материалов при сложном нагружении. Решение о выдаче свидетельства на полезную модель / В.Г. Зубчанинов, Н.Л. Охлопков, В.В. Гараников. - М., ВНИИГПЭ, 1997. - № 97108023/20(008702).