

Всего добыто более 105 млн. м³ метана.

Экспериментальные работы в промышленных условиях показали, что в результате применения ПГДВ и ПДВ происходит полная декольматация при-скважинной зоны, образование устойчивой фильтрационной системы, соединенной с фильтрационной системой выработанного пространства, способной транспортировать газ из массива за пределы скважины, независимо от того, как давно производилось воздействие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Применение пневмогидродинамического воздействия на углеродный массив через поверхностные дегазационные скважины для добычи метана угольных месторождений / П.Е. Филимонов, Б.В. Бокий, В.В. Чередников, И.А. Ефремов, К.К. Софийский // Сб. научн. трудов.: «Геотехническая механика». – Днепропетровск, 2010. – № 87. – С. 34-41.
2. Чередников В.В. Теоретическое обоснование алгоритма управления процессом гидродинамического воздействия на газонасыщенный пористый массив в условиях шахты им. А.Ф. Засядько / В.В. Чередников, К.К. Софийский // Сб. научн. тр.: «Геотехнологии и управление производством XXI века»: материалы II Международной научно-практической конференции (2-3 окт. 2007 г). – Донецк, 2007. – С. 46-51.
3. Чередников В.В. Задача управления процессом пневмогидродинамического воздействия на газонасыщенный породный массив в условиях шахты им. А.Ф. Засядько / В.В. Чередников, К.К. Софийский, С.С. Серезников // Сб. научн. тр.: «Геотехнологии и управление производством XXI века»: материалы II Международно научно-практической конференции (2-3 окт. 2007 г). – Донецк, 2007. – С. 58-63.
4. Дегазация угольных пластов для промышленного использования шахтного метана / В.В. Чередников, Е.А. Воробьев, К.К. Софийский, Д.П. Силин, А.П. Петух, Э.И. Мучник // Сб. научн. тр.: Луганского национального аграрного университета. – Луганск: „Елтон-2”, 2008. – № 81. – С. 292-298.
5. Установление закономерностей процесса пневмодинамического воздействия / К.К. Софийский, П.Е. Филимонов, Р.А. Агаев // Сб. научн. трудов.: «Геотехническая механика». – Днепропетровск, 2010. – № 89. – С. 3-9.

УДК 539.3

Э.А. Ткаченко, д.ф.-м.н.; В.Н. Чехов, д.ф.-м.н. (институт механики им. С.П. Тимошенко НАН Украины)
В.С. Гришин, к.т.н. (ДНМетАУ)

МЕТОД ОЦЕНКИ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В рамках моделі кусково-однорідного середовища на основі теорії короткочасної повзучості розглянуто метод оцінки високотемпературної повзучості елементів конструкції. Сформульовано загальну постановку задачі та побудована модель квазішаруватого елемента. Для в'язкопружних моделей середовищ отримано розв'язок конкретної задачі

THE METHOD OF EVALUATION OF THE ELEVATED TEMPERATURE SHORT-TERM CREEP FOR STRUCTURAL ELEMENTS OF MINING-METALLURGY EQUIPMENT

Within the framework of the model of piecewise-homogeneous media on the base of short-term creep theory, the method of Evaluation of high temperature creep is considered. The general statement of the problem is formulated. Design model of quasi-layered element is built. The solution of particular problem is obtained for viscoelastic and elastoplastic models

Введение. При высоких температурах ползучесть определяет прочность и долговечность элементов конструкций. Под кратковременной ползучестью [1] понимаются такие процессы ползучести металлов, когда значительная деформация, нарушающая конструктивную функцию изделия, накапливается за относительно короткое время. Рассматриваемый диапазон времени простирается примерно от 2-3 сек до 20 мин, что часто соответствует циклу термонапряженного состояния в течение одной теплосмены (например, наконечников кислородных фурм). Однако определение кратковременной ползучести по-существу характеризует не столько длительность процесса, сколько диапазон напряжений и температур. Кратковременная ползучесть для большинства материалов происходит без заметного упрочнения, исключение составляет медь. Высокая пластичность и теплопроводность, малая окисляемость обусловили широкое применение технической меди М1-М3 для элементов конструкций, работающих при предельных значениях температуры. Деформация ползучести не определяется однозначно приложенной нагрузкой, а зависит от программы изменения температуры во времени. Имеются лишь отдельные попытки учесть это влияние в прикладных задачах прочности и долговечности элементов конструкций горно-металлургического оборудования. На примере медных элементов конструкций целесообразно разработать эффективные методы оценки кратковременной высокотемпературной ползучести, которая в режиме малого циклового нагружения (теплосмены) позволяет прогнозировать долговечность оборудования.

1. Постановка задачи. Отличительная особенность кратковременной ползучести меди заключается в том, что при любых температурах и напряжениях обнаруживается неустановившаяся ползучесть, скорость которой непостоянна. В процессе развития деформации ползучести элементов конструкции (разделительные стенки, тонкостенные цилиндрические оболочки и др.) с высоким градиентом температуры по толщине возникают значительные колебания истинных напряжений, которые особенно велики для отдельных температурных зон элемента конструкции. Они характеризуют взаимную смену процессов упрочнения и разупрочнения, достаточно точной характеристикой которых являются величины амплитуд колебаний напряжений $\Delta\sigma$ и деформаций $\Delta\epsilon$. Разность между максимальными и минимальными напряжениями растяжения или сжатия дает полную характеристику развития послойной локализации деформации. Разработка методов их оценки для разных продольных сечений элементов конструкций является проблемой, от решения которой зависит успешное изучение кратковременной ползучести при высоком градиенте температур. На примере тонкостенной разделительной цилиндрической стенки требуется разработка модели и методов оценки геометрических параметров зон упрочнения и разупрочнения при больших пластических деформациях, а также определение истинного распределения напряжений и температурных зон по сечению разделительной стенки, при которых в течение заданной программы теплового нагружения, например, наконечника кислородной фурмы (рис. 1), будет определена критическая величина ползучести и время разрушения.

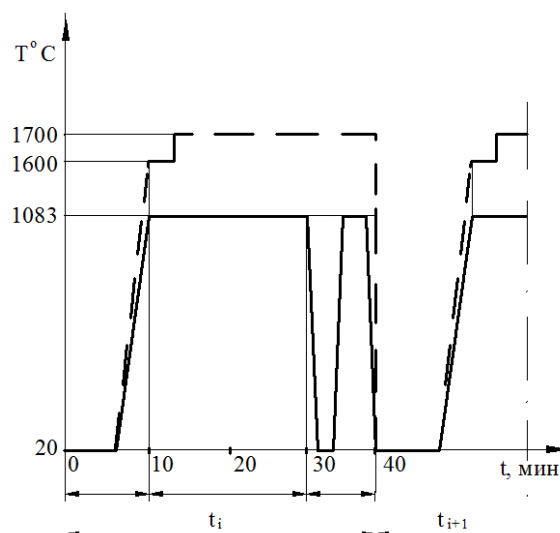


Рис.1 - Типовая программа температурного режима конвертора (----) и наконечника фурмы (—) в течение теплосмены (плавки), с учетом вывода фурмы при повалке конвертора.

2. Аналитическое представление кратковременной ползучести. В результате механических и термических воздействий в медной стенке элемента конструкции при большом градиенте температур возникает неоднородное структурное состояние, которое проявляется в формировании слоистых структур с границей раздела по линии рекристаллизации упрочняемого материала и провалов пластичности в аномальных температурных зонах. Деформацию ползучести сопровождают два конкурирующих процесса: упрочнение меди пластической деформацией и снятие упрочнения под воздействием повышенной температуры. Известно [2], что явление ползучести обнаруживается в случаях, когда температура эксплуатации элемента конструкции выше температуры, при которой наблюдаются процессы разупрочнения упрочненного металла и при напряжениях выше предела упругости. При этом скорость ползучести будет тем больше, чем быстрее разупрочняется металл под действием рекристаллизационных процессов и чем меньше его прочность при кратковременных нагружениях. Ниже температуры, при которой с заметной скоростью протекает процесс разупрочнения (для меди М1 порядка 270°C) явление ползучести протекает с малой скоростью, а в поверхностном слое охлаждаемой стенки ползучесть соразмерна вынужденной пластической деформации. Если при температуре $270\text{-}300^{\circ}\text{C}$ значения напряжения ниже предела упругости меди при данной температуре, то напряжение вызовет только упругие деформации. Пластическая деформация ниже температуры рекристаллизации вызывает наклеп и упрочнение.

При температуре наружной поверхности стенки рекристаллизация завершается в доли секунд и упрочнение в результате пластической деформации будет немедленно сниматься. Принимается во внимание, что относительно низкая температура нагрева стенки в зоне охлаждения и происходящее при этом снятие искажений решетки в процессе нагрева деформируемого металла несколько повышает пластичность меди, однако при температуре выше 300° твердость меди резко падает и достигает величины отожженного металла.

Таким образом, стенку элемента конструкции можно моделировать кусочно-однородной слоистой средой с определенными геометрическими и физико-механическими параметрами, которые зависят от действия кратковременных малоцикловых тепловых и механических нагрузок.

Кратковременная ползучесть элементов конструкций из меди М1 протекает по классической схеме и типичная кривая ползучести включает три характерных участка: 1 – скорость деформации переменная и убывает со временем, достигая минимального значения $\dot{\varepsilon}(\sigma)$; 2 – скорость ползучести постоянна $de/dt = \dot{\varepsilon}(\sigma)$; 3 – скорость ползучести возрастает и наступает момент разрушения элемента конструкции. Особенности термосилового нагружения элементов конструкции в режиме эксплуатации (например, монотонность поддержания давления 8-12 атм в камерах циркуляции охлаждающей жидкости наконечников кислородных фурм; неравномерность температуры по толщине разделительной стенки) позволяют описывать кратковременную ползучесть уравнением [1]

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + g(\sigma) + \int_0^t \dot{\varepsilon}(\sigma, T) dt. \quad (2.1)$$

Здесь $\varepsilon_0 = \frac{\sigma}{E} + g(\sigma)$ - мгновенная упругопластическая деформация.

Для практических расчетов скорость установившейся ползучести $\dot{\varepsilon}(\sigma, T)$ удобно аппроксимировать степенной зависимостью с пределом ползучести

$$\left. \begin{aligned} \dot{p} = \dot{\varepsilon}(\sigma, T) &= \varepsilon'_n \left(\frac{\sigma}{\sigma'_n} - 1 \right)^n, & \sigma > \sigma'_n \\ \dot{p} &= 0, & \sigma \leq \sigma'_n. \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

где ε'_n , σ'_n , n – независимые константы, являющиеся функцией температуры.

Для упрочняемых металлов (например, медь) степень упрочнения возрастает по мере накопления деформации ползучести. В качестве параметра упрочнения принимаем величину накопленной деформации ползучести p . Первые участки кривых ползучести удовлетворительно описываются степенной функцией времени, так что деформация ползучести пропорциональна t^m и закон упрочнения принимается в виде

$$\dot{p} = p^{-\alpha} f(\sigma); \quad \left(\alpha = \frac{1-m}{m} \right). \quad (2.3)$$

Для описания перехода во вторую фазу истощения способности материала к упрочнению, не разделяя деформацию установившейся и неустановившейся ползучести, вводится допущение, что

$$\dot{p} = h(p) f(\sigma). \quad (2.4)$$

Функция $h(p)$ в данном случае определена следующим образом:

$$h(p) = \begin{cases} p^{-\alpha} & p \leq p_c, \\ p_c^{-\alpha} & p \geq p_c \end{cases}, \quad (2.5)$$

где p_c — установившаяся ползучесть; α — постоянная, зависящая от температуры, а для более точного описания действительных кривых ползучести также зависящая от напряжения; m - константа в степенной аппроксимации, зависящая от температуры.

Третий участок кривой кратковременной ползучести, не отражающийся уравнением (2.1), обнаруживает равномерное удлинение и время разрушения при достижении $\epsilon = \epsilon^*$ достаточно точно определяется законом гиперболического синуса. В данном случае принимается, что материал подчиняется закону [3]:

$$\dot{\epsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E} + Msh \frac{\sigma}{\sigma_0}, \quad (2.6)$$

где σ — приложенное напряжение сжатия (растяжения); σ_0 — постоянная материала в законе ползучести; M — температурная постоянная, мин^{-1} ; E — модуль упругости.

В общем случае для конструкций, которые характеризуются в основном плоским напряженным состоянием, время разрушения, выраженное в параметрах, определяющих начальные отклонения, имеет вид

$$\frac{t_{кр}}{\tau \left[\left(\frac{\sigma_{кр}}{\bar{\sigma}} \right) - 1 \right]} = \frac{\ln \operatorname{cth} \left[\frac{\bar{\sigma}}{\sigma_0} \frac{\omega_{00} / h}{1 - (\bar{\sigma} / \sigma_{кр})} \right]}{ch(\bar{\sigma} / \sigma_0)}, \quad (2.7)$$

где $\tau = \sigma_0 / ME$ — постоянная времени (цикла), мин; $\sigma_{кр} = P_{кр} / A$ — упругое критическое напряжение; A — площадь поперечного сечения; $P_{кр}$ — упругая критическая нагрузка; h — расстояние между наружными слоями слоистой стенки (толщина сплошной стенки); ω_{00} — начальное искривление до приложения нагрузки.

Применительно к задачам выпучивания при ползучести для элементов конструкций с высоким градиентом температур по толщине стенки под прогибом ω_0 понимается прогиб в момент времени $t=0$, когда нагрузка уже приложена. Тогда, прогиб в каждой теплосмене ω_0 представляет собой начальное отклонение в цикле нагружения ω_{00} умноженное на коэффициент $(1 - \bar{\sigma} / \sigma_{кр})^{-1}$:

$$\omega_0 = \frac{\omega_{00}}{1 - (\bar{\sigma} / \sigma_{кр})}. \quad (2.8)$$

С помощью уравнения (2.1) нетрудно предсказать ход кривой ползучести при внезапном изменении общего по сечению напряжения, вызванном трансформацией слоистой структуры по толщине стенки элемента конструкции. При этом гипотеза упрочнения работает только в пределах зоны упругопластических деформаций. В течение некоторого времени t напряжение контролирует ползучесть стенки элемента конструкции, исходя из условия совместности деформации. В результате разгрузки ползучесть может полностью приостановиться, а иногда и пойти в обратном направлении. При установившейся ползучести скорость становится такой, как это следует из гипотезы упрочнения при совместном деформировании слоистого материала. После разгрузки по истечении теплосмены полная деформация мгновенно уменьшается на величину упругой составляющей и величину возврата. Отмеченные вторичные эффекты не играют существенной роли при расчете на кратковременную ползучесть элементов конструкций, если интервал между теплосменами значительно меньше времени релаксации напряжений, а также когда после снятия температурного напряжения механическая нагрузка остается в пределах номинального значения.

3. Модель квазистабильной слоистой структуры разделительной стенки. Фундаментальные исследования локализации текучести меди [2] в широком диапазоне температур показали наличие нескольких местных изменений показателей пластичности с четко разделенными минимумами, привязанными к определенным температурам. Для меди вместо принимаемой зоны хрупкости в интервале 250-270°C обнаружены три местных провала пластичности с минимумами около 300, 500 и 700°C, иногда также проявляются аномалии вблизи 150 и 800-850°C. Анализ особенностей деформации меди позволяет сформулировать представление о кинетическом соответствии процесса деформирования и превращений, протекающих в деформируемом теле под действием термонапряженного поля с большим градиентом температур.

При построении модели квазистабильной слоистой структуры разделительной стенки используется графо-аналитический метод реверсный графическому способу определения температур на поверхностях слоев неоднородной среды [4]. В основу метода положено свойство линейной зависимости температурного напора в слоистой среде от термического сопротивления отдельных слоев

$$T_i - T_{i+1} = q \frac{\delta_i}{\lambda_i}. \quad (3.1)$$

Зависимость (3.1) позволяет построить модель квазистабильной слоистой разделительной стенки (рис.2), в которой толщины метастабильных слоев δ_i , формирующиеся в конкретном режиме термосилового нагружения пропорциональны соответствующим термическим сопротивлениям δ_i/λ_i . Внешние термические сопротивления теплоотдачи $1/\alpha_1$ и $1/\alpha_2$ учитываются введением двух условных приграничных к поверхностям разделительной стенки слоев подвижных сред соответ-

вующей толщины. В масштабе температур ординатных осей подвижных сред $T_{\text{расп}}$ и $T_{\text{ох}}$ линейная зависимость (3.1) при заданном градиенте температур позволяют получить на оси абсцисс отрезки, соответствующие общему термическому сопротивлению теплопередачи R

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}. \quad (3.2)$$

Критические и особые точки температур, характеризующие трансформацию структуры по толщине разделительной стенки, на оси абсцисс определяют значения δ_i/λ_i параметров сформировавшейся квазистабильной слоистой среды. Используя справочные значения $\lambda_i(T)$ в диапазоне температур раздела слоистой среды, геометрические параметры δ_i квазистабильных слоев разделительной стенки определяются графоаналитическим способом (рис.2). Термическое сопротивление теплоотдачи от расплава стали (жидкой ванны) к горячей поверхности стенки наконечника кислородной фурмы определяется из условия предельного значения температуры на поверхности равной температуре плавления меди М1 ($T_{\text{пл}}=1083^\circ\text{C}$). Термическое сопротивление теплоотдачи от охлаждаемой стенки определяется эффективностью системы охлаждения из расчета допустимой температуры на поверхности стенки $T_{\text{ох}}=40^\circ\text{C}$.

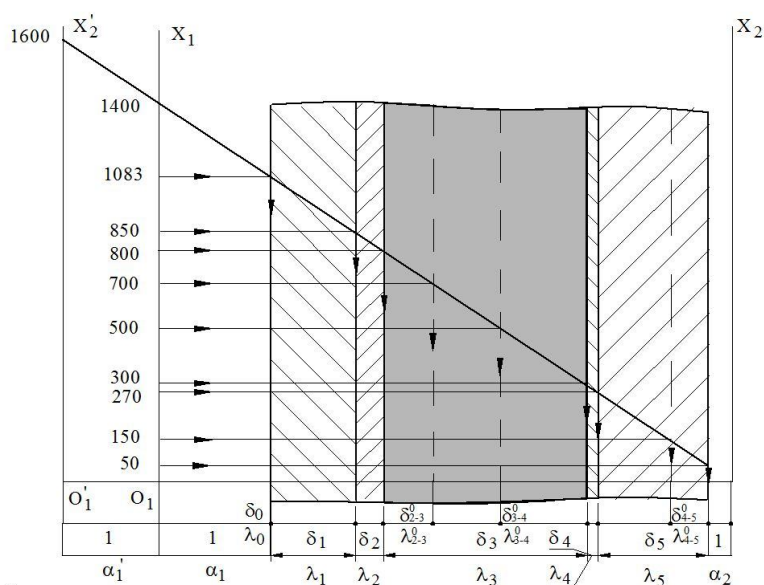


Рис.2 - Модель квазистабильной слоистой структуры разделительной стенки.

Плавающая граница раздела метастабильных слоев и их физико-механические и теплофизические свойства в процессе кратковременной ползучести фиксируют кусочно-однородную слоистую структуру лишь в рамках конкретной теплосмены и температурно-временном режиме нагружения. Представленная модель слоистой структуры позволяет гибко учитывать трансформированное состояние разделительной стенки в случае изменения градиента температур, определяемого параметрами

внешних подвижных сред ($1/\alpha_1, 1/\alpha_2$). В табл. 1 приведены значения геометрических параметров слоистой структуры разделительной стенки толщиной 10 мм и 14 мм.

Таблица 1

$T_i, ^\circ\text{C}$	50	150	270	300	500	700	800	850	1083
$\lambda_i,$ Вт/см·град	399	391	384	381	368	354	347	343	328
$\delta_i,$ мм при	δ_5			δ_4	δ_3			δ_2	δ_1
$\delta=10\text{мм}$	2,50			0,25	4,67			0,53	2,05
$\delta=14\text{мм}$	3,46			0,34	6,45			0,90	2,85

4. Постановка и анализ экспериментальных исследований. Опытные образцы изготавливались из горячекатаной листовой меди марки М1, которые исследовали путем построения кривых течения и изучения разделения по образцу равномерной, смешанной и локальной деформации. Эксперименты проводились на универсальной машине модели 1253У-2-1 с термокамерой ПР-1200-4М. Скорость растяжения составляла 0,2 – 4,0 мм/мин. Одновременно избирательно проводилась корректировка режимов испытаний для получения сравнительных данных с результатами приведенными в работе [2] для бескислородной меди марки МОб.

Анализ кривых процессов деформации (рис.3) подтверждает, что до 300°C обнаруживается значительный наклеп меди. Растяжение образцов при 500°C показывает отсутствие упрочнения после появления шейки. При более высоких температурах, начиная с 600°C, меди свойственно деформационное разупрочнение. Подтвержден факт существенного понижения пластичности отожженной меди марки М1 в области 800-850°C. При 600°C и выше наблюдается осцилляция напряжений течения, свойственная большинству чистых металлов.

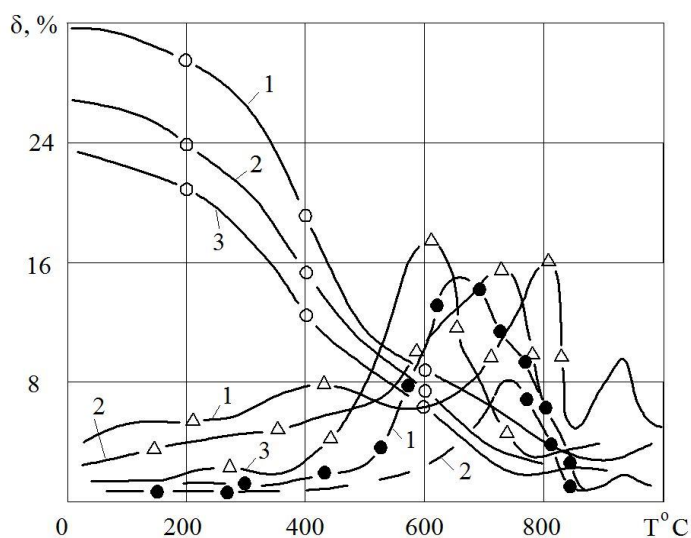


Рис. 3 - Зависимость равномерной (—○—), смешанной (—Δ—) и локальной (—●—) деформации меди М1 от температуры при предварительном наклепе: $\varepsilon=0(1)$, $\varepsilon=5(2)$, $\varepsilon=8(3)$.

Приведенные на рис.3 данные о величине вклада равномерной, смешанной и локальной частей деформирования в общей деформации образцов при различных температурах и степени предварительного наклепа 5 и 8% показывают, что вклад равномерной деформации, достаточно большой при низких температурах, непрерывно уменьшается с ее ростом и не превышает 8% выше 600°C. Смешанная и локальная стадии течения меди, приблизительно равные по величине, остаются относительно небольшими до 400-500°C, затем резко возрастают и превышают значения вклада равномерной деформации примерно в 2 раза. При этом в области 600-1000°C наблюдаются сильные осцилляции значений равномерной, смешанной и локальной частей деформирования с небольшой величиной в зоне высокотемпературного провала пластичности.

Переход от одной стадии локализации к другой носит характер кардинального изменения физико-механических свойств материала. Фактически при температуре выше 850°C к моменту достижения критического времени $t = t^*$ и деформации равномерного удлинения $e = e^* \geq 8\%$ происходит образование шейки, и дальнейший анализ, основанный на предположении о равномерном удлинении, становится неправомерным. Однако процесс ползучести может быть представлен как замедленный переход от спонтанной локализации равномерной деформации к ее устойчивому течению, характерному для локальной части деформации при температуре 850°C. В связи с чем степень деформации до появления и окончания смешанного течения может быть включена в рассмотрение ползучести как период, когда при уже появившейся шейке наблюдается общее деформирование образца. Такое рассмотрение локализации при ползучести более соответствует действительности и возникает представление о деформационном превращении в структуре меди, находящейся в поле высокого градиента температур, которое приводит к появлению динамически устойчивого состояния разделительной стенки, существующего только в процессе деформирования. В соответствии с данными табл.1 при кратковременной ползучести в зоне умеренных температур $\delta_5 + \delta_4$ разрушение должно носить обычный для ползучести характер и сопровождается лишь незначительной пластической деформацией. При температурах зоны δ_3 ползучесть имеет ярко выраженный пластический характер. При достаточно высоких температурах зоны δ_1 можно считать процесс разрушения при кратковременной ползучести чисто вязким. Нижний предел этой области температур для меди М1 оговорен в справочных данных приведенных в работе [1] и составляет величину порядка 800°C.

5. Пример решения задачи. Выпучивание при ползучести. Расчет потери устойчивости тонкостенных элементов конструкций (корпус наконечника) под действием системы сжимающих силовых и тепловых нагрузок предполагает определение смежного равновесного состояния и искажения геометрической формы, имеющей тенденцию к росту в процессе ползучести, которые могут привести к катастрофическому разрушению.

Применимость уравнения (2.7) к оценке выпучивания при кратковременной ползучести в течение N циклов термосилового нагружения (теплосмен) по аналогии с [3] продемонстрируем на диаграмме выпучивания (рис.4), дающей зави-

симось безразмерного параметра $t_{кр}/\tau[(\sigma_{кр}/\bar{\sigma})-1]$ от величины $\bar{\sigma}/\sigma_0$ для ряда значений начального отклонения, представляемого параметром

$$(\omega_{00}/h_{cl})[1 - (\bar{\sigma}/\sigma_{кр})] = f_0 \quad (5.1)$$

Наименьшее значение параметра отклонения f_0 , равное 0,2 представляет исходное состояние конструкции, изготовленной с заданной по технологическому процессу точностью цилиндрической тонкостенной оболочки наконечника фурмы. Максимальная величина параметра, равная 7,0, имела место при изучении поведения фурм на стадии предразрушения.

На диаграмму нанесены два типа экспериментальных точек: при давлении 8 и 12 атм охлаждающей жидкости.

Численное обозначение возле каждой точки состоит из значения параметра отклонения для данного замера (числитель) и количества теплосмен (знаменатель). Сравнивая эти числа со значением параметра отклонения, связанного с ближайшей прямой, можно установить точность, с которой предсказывается выпучивание стенки цилиндрической оболочки.

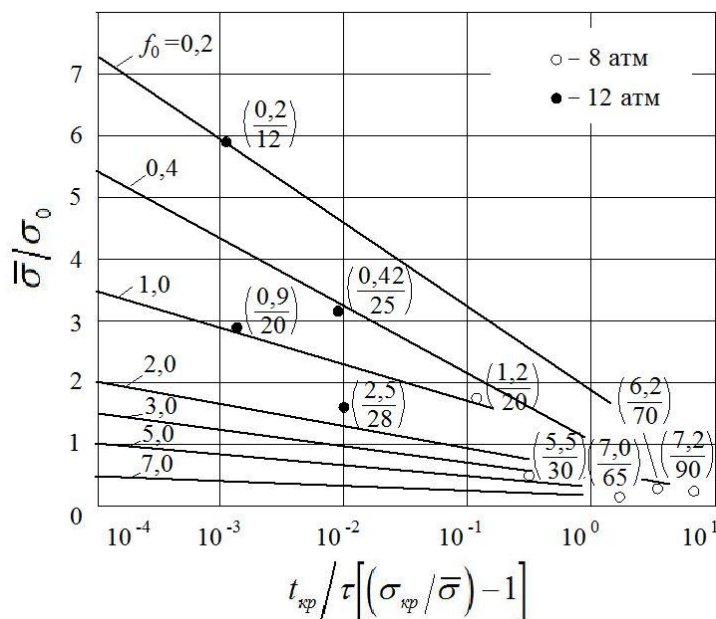


Рис.4 - Диаграмма выпучивания при ползучести тонкостенной (h=10мм) цилиндрической оболочки (M1).

На рис.4 видно, что предложенный метод достаточно точно отражает характер экспериментальных результатов. Цилиндрические оболочки с увеличением количества теплосмен обнаружили лучшее совпадение с аналитическими предсказаниями, чем при первых теплосменах. Включены только такие данные, которые можно было получить в условиях реального производства. Во всех случаях точки лежат достаточно близко к соответствующим прямым. Тот факт, что данные по выпучиванию при ползучести можно графически представить со-

вместно с данными работы [3] в виде единой диаграммы, позволяет сделать заключение, что предложенный метод носит общий характер.

Выводы. Выдвинут новый подход к объяснению кратковременной ползучести на основе локализации пластической деформации и течения в рамках кусочно-однородной модели слоистой среды. При совместном деформировании элементов квазислоистой структуры меди истинные напряжения в отдельных метастабильных спонтанно формирующихся слоях определяют кинетику процесса кратковременной ползучести элемента конструкции. Программа термостатического нагружения наконечника фурмы определяет характер распределения напряжений и температурных зон по сечению элемента конструкции. Анализ ползучести в течение теплосмены позволяет прогнозировать долговечность при заданных режимах эксплуатации оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Работнов Ю.Н. Кратковременная ползучесть / Ю.Н. Работнов, С.Т. Милейко. М.: Наука, 1970. 224с.
2. Пресняков А.А. Локализация пластической деформации. Алма-Ата: Наука, 1981. 122 с.
3. Stowell E.Z., Thein Wah. A unified theory for creep buckling under normal loads. Journal of the Aero/Space Sciences. 1962.-29, №6. – P.658-661.
4. Исаченко В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сук

УДК 544.638:556.33/.34

Е.В.Семененко, д.т.н. (ИГТМ НАН Украины)

Н.А. Никифорова, к.т.н. (НМетАУ)

О.В. Витушко, к.т.н.

(ООО "ШАХТСТРОЙМОНТАЖ")

Л.Ю. Колодяжная, ст. преподаватель (НМетАУ)

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ФИЛЬТРАЦИЮ ЖИДКОСТИ В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

Розглянуто вплив електрокінетичних явищ на фільтрацію рідини в гірських породах. Запропоновано рекомендації щодо використання вимірювань потенціалу течії для оцінки й порівняння стану гірських масивів та властивостей підземних вод

INFLUENCE OF ELECTROKINETIC PHENOMENA ON FLUID WEEPAGE IN ROCKS

Influence of electrokinetic phenomena on fluid weepage in rocks is considered. Recommendations about application of streaming potential measuring for rating and comparison of massifs state and groundwater behavior are offered

При проведении горных работ нельзя не учитывать фильтрацию подземных вод через горные породы и грунты. Поскольку фильтрация происходит в результате возникновения градиента давления в горной породе, а любая природная вода содержит растворенные электролиты и обладает электропроводностью, фильтрация в горных породах неизбежно сопровождается возникновением электрокинетических явлений. Электрокинетические явления определяют многие особенности