

шений с окружающими. Онтогенез детско-родительского взаимодействия в таких семьях на ранних этапах становления опосредуется повышенным уровнем тревожности матери во время беременности. Выявленные закономерности необходимо учитывать при планировании профилактических мероприятий по гармонизации дет-

ско-родительского взаимодействия уже на этапе планирования беременности.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ в рамках научно-исследовательского проекта РГНФ («Исследование трансгенерационных механизмов формирования родительства»), проект № 12-16-67009 а/р.

Технические науки

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ГРАНИЦ ЗЕРЕН МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Волоконский М.В., Мишин В.М.

Северо-Кавказский федеральный университет, Пятигорск, e-mail: mishinvm@yandex.ru

При замедленном хрупком разрушении (ЗХР) мартенситных сталей трещина зарождается на границе зерна и далее развивается по границам зерен [1]. В связи с этим для решения практических задач необходимо количественное знание прочности границы зерна. В настоящее время единственным методом, позволяющим, на основе результатов испытаний образцов, рассчитать напряжения в зоне зарождения трещины является метод конечных элементов (МКЭ) [2]. В работе используется МКЭ, позволяющий учитывать не только упругие, но и локализованные пластические деформации.

Целью работы является количественная оценка локальной прочности границ зерен мартенситной стали, ослабленной остаточными внутренними микронапряжениями.

Для оценки локальной прочности границ зерен использовали испытания на замедленное хрупкое разрушение (ЗХР) [3]. Особенностью ЗХР является то, что трещина зарождается и далее развивается по границам зерен. Поэтому, пороговое локальное напряжение зарождения микротрещины является характеристикой прочности границы зерна.

Исследовали образцы с надрезом Шарпи из стали 18X2H4BA (0,19 C; 1,5 Cr; 4,1 Ni; 0,2 Si; 0,37 Mn; 0,82 W; 0,003 S, вес. %), выплавленную в открытой индукционной печи. Для получения состояний различающихся уровнем остаточных внутренних микронапряжений при одной и той же структуре, образцы после закалки на мартенсит выдерживали различное время. Испытания на ЗХР проводили нагружением образцов до заданного уровня нагрузки и выдержкой до разрушения. Строили кривые ЗХР в координатах время до зарождения трещины – уровень номинального напряжения.

С помощью метода конечных элементов проведено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния в зоне зарождения трещины на границе зерна. В математическую модель была введена реалогическая

кривая зависимости напряжения от деформации образца на растяжение (МРГ-3), находящегося в том же структурном состоянии.

Входные характеристики программы: предел текучести, модуль Юнга, показатель и коэффициент упрочнения определяли из испытаний на растяжение гладких образцов МРГ-3 после аналогичной термообработки. С помощью МКЭ моделировали образец $10 \times 10 \times 40$ с надрезом типа Шарпи глубиной 2,00 мм, углом раскрытия надреза 45° радиусом закругления 0,25 мм, нагруженный сосредоточенным изгибом. В результате расчетов методом конечных элементов определяли напряженно-деформированное состояние во всех узлах сетки элементов для дискретных нагрузок, а так же перед концентратором напряжений до и после появления пластической зоны.

Затем кривые замедленного разрушения пересчитывали с помощью МКЭ из координат: «время до зарождения трещины – номинальное напряжение», в координаты: «время до зарождения трещины – локальное напряжение». Выявляли пороговые локальные напряжения ниже уровня которых зарождение трещины не происходит. Полагали, что эти пороговые локальные напряжения для различных состояний мартенситной стали характеризуют прочность границы зерна, ослабленной различными уровнями остаточных внутренних микронапряжений. Были получены зависимости локальной прочности границ зерен мартенситной стали в зависимости от уровня остаточных внутренних микронапряжений.

Таким образом, феноменологические результаты испытаний на замедленное хрупкое разрушение мартенситной стали получили количественные физически обоснованные характеристики. Показано, что пороговое локальное напряжение $\sigma_{11\text{порог}}$ характеризует локальную прочность границы зерна мартенситной стали. Впервые установлена количественная зависимость прочности границы зерна мартенситной стали 18X2H4BA от уровня остаточных внутренних микронапряжений после закалки и различного времени отдыха.

Список литературы

1. Мишин В.М., Филиппов Г.А. Кинетическая модель замедленного разрушения закаленной стали // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – 2008. – № 3. – С. 28–33.
2. Мишин В.М. Структурно-механические основы локального разрушения конструкционных сталей: монография. – Пятигорск: Спецпечать, 2006. – 226 с.

3. Мишин В.М., Филиппов Г.А. Критерий и физико-механическая характеристика сопротивления стали замедленному разрушению // Деформация и разрушение материалов. – 2007. – № 3. – С. 37–42.

УЧЕТ СМЕЩЕНИЙ В ПРИКРЕПЛЕНИЯХ ЭЛЕМЕНТОВ НАДСТРОЕК И СТЫКАХ ПЛАШКОУТОВ ПЛАВУЧИХ ОПОР

Должиков В.Н., Должикова Е.Н.

Сочинский государственный университет, Сочи,
e-mail: doljikov_v@mail.ru

Применение инвентарных конструкций вспомогательных опор при строительстве мостов резко снижает расход лесоматериалов, уменьшает затраты труда и значительно сокращает сроки строительства. С учетом большого объема работ по изготовлению и монтажу вспомогательных сооружений создан и постоянно увеличивается и совершенствуется парк мостостроительных инвентарных конструкций, основное условие рационального использования которого – комплектация экономичных временных конструкций при многократной оборачиваемости элементов.

К инвентарным конструкциям относятся также понтоны типа КС, используемые в качестве элементов плавучих средств различного назначения, в частности плавучих опор для перевозки и монтажа пролетных строений.

Условия применения и принципы проектирования вспомогательных сооружений из инвентарных конструкций определяют ряд особенностей работы этих сооружений. К этим особенностям относятся податливость фундаментов стационарных опор, взаимодействие надстроек и плашкоутов плавучих опор, влияние на напряженное состояние надстроек усилий от жесткости узлов, а также перераспределение усилий в системах от податливости узлов и соединений, выполняемых с целью облегчения монтажа, на высокопрочных болтах и болтах нормальной точности. Смещения Δ_i в болтовых соединениях решетчатых надстроек стационарных опор учитываются посредством замены модулей упругости E на модули линейной деформации E_{ci} элементов, определяемых через модули деформации болтовых соединений в начале $E_{c,1i}$ и в конце $E_{c,2i}$ i -го элемента.

Модуль деформации болтового соединения E_{ci} при усилии N_i в i -м элементе запишется как [2, с. 78]:

$$E_{ci} = \frac{N_i}{\Delta_i} = \frac{T_i + S_i(\Delta_{cm})}{u + v + \Delta_{cm}}, \quad (1)$$

где T_i – сила трения в соединении i -го элемента, определяемая по формуле:

$$T = N_n f(b_0 + b_1 \Delta_{cm}), \quad (2)$$

где N_n – нормативное усилие натяжения болта; f – коэффициент трения; b_0, b_1 – эмпирические параметры.

$S_{i(\Delta)}$ – эмпирическая зависимость при работе соединения на смятие [1, с. 37];

$$S(\Delta) = (C_1 \delta + C_2 \delta^2) \Delta + (C_3 \delta + C_4 \delta^2) \Delta^2, \quad (3)$$

u – сдвиг соединения на разность номинальных диаметров болта и отверстия;

v – допускаемые отклонения от номинальных диаметров болта и отверстия;

Δ_{cm} – неупругая деформация смятия.

Для соединения на высокопрочных болтах, в случае использования последних как несущих при сборке надстроек из МИК-С, сила трения T_i определяется по формуле (2).

Изменение Δl_i расстояний между центрами узлов i -го элемента определяется как сумма упругой деформации Δl_{yi} и смещений в креплениях Δ_{1i} и Δ_{2i}

$$\Delta l_i = \Delta l_{yi} + \Delta_{1i} + \Delta_{2i}$$

или

$$\Delta l_i = N_i \left(\frac{l_i}{EF_i} + \frac{1}{E_{c,1i}} + \frac{1}{E_{c,2i}} \right). \quad (4)$$

Отсюда находим модель линейной деформации i -го элемента

$$E_{ci} = \frac{l_i EE_{c,1i} E_{c,2i}}{EF_i E_{c,1i} + EF_i E_{c,2i} + l_i E_{c,1i} E_{c,2i}}. \quad (5)$$

Модуль линейной деформации соединения, характеризующийся углом L_p , является величиной переменной.

Из диаграммы видно, что сдвиги в болтовых соединениях начинаются после преодоления сил трения.

Силы натяжения болтов нормальной точности и силы трения между соединяемыми элементами невелики и не контролируются при сборке надстроек. Поэтому нельзя предусмотреть при каком усилии в соединениях элементов начнутся и в какой последовательности они будут происходить. Исходя из этого и в целях упрощения задачи с учетом смещений в болтовых соединениях можно использовать диаграмму нагружения соединения [2, с. 78], учитывающую сдвиг на разность диаметров болта и отверстия в начале загрузки элемента. Данная предпосылка исходит из того, что в реальных конструкциях усилия в элементах, как правило, превышает силу трения в соединении. Усилие, передающееся через смятие, определяют по [1, с. 37].

Допуская, что величины смещений в соединениях в начале Δ_{1i} и конце Δ_{2i} i -го элемента одинаковы, модуль деформации элемента будет определять по формуле:

$$E_{ci} = \frac{l_i EE_{ci}}{2EF + l_i E_{ci}}. \quad (6)$$

Расчет ведется методом итераций с поэтапным уточнением усилий в элементах. Итерационный процесс можно выполнять также уточняя