

А.Г.АНДРЕЕВ, канд.техн.наук., НТУ «ХПИ»;

Н.К.РЕЗНИЧЕНКО, канд.техн.наук., Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СОСТАВНЫХ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, СОБИРАЕМЫХ С НАТЯГОМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НАГРЕВА

Описана імітаційна модель, призначена для дослідження зборки конструкцій, що мають з'єднання з натягом, забезпечує виконання технологічних і міцностних вимог до конструкції. Наведені числові результати.

The created simulation model is intended for a research of assembly, ensures execution technological and strength of the requirements to a construction. The numerical results are indicated.

Постановка задачи. Технология сборки с натягом при использовании нагрева охватывающей детали применяется для ответственных изделий, поскольку она обеспечивает в 1,5-2 раза большую прочность сопряжения деталей, чем при обычной запрессовке. Конструкции таких изделий могут быть двухэлементными – охватываемая деталь (вал, ось или диск) соединена с той или иной охватывающей деталью (зубчатое колесо, полумуфта, бандаж и др.). Напряжения в деталях таких изделий рассчитывают различными по сложности способами в зависимости от требуемой точности, но в целом особой трудности они не представляют [1,2]. Если конструкция трехэлементная составная – например, на оси с натягом установлен диск, а на диске также по посадке с натягом установлен венец, то возникающие в деталях напряжения и деформации зависят от характеристик технологического процесса сборки. Технологические процессы могут быть двух типов:

– на ось (вал) устанавливают нагретый диск (центр) и после их скрепления в соединении и остывания устанавливают на диск (центр) нагретый венец (бандаж);

– на диск (центр) устанавливают нагретый венец (бандаж) и после их остывания данное «промежуточное» соединение устанавливают на ось (вал).

Целью данной работы является исследование напряженно-деформированного состояния составных конструкций (СК) соединенных с натягом, собираемых с использованием нагрева по двум различным технологическим процессам (ТП), для установления областей их применения в зависимости от размерных соотношений СК. Были выполнены следующие расчеты:

– напряжения в собранной конструкции, посаженной на ось, обусловленные соединением ее частей посадкой с натягом;

– напряжения в собранной модели при нагреве ступицы под посадку на ось, обусловленные неравномерным температурным полем и соединением ее

частей с натягом;

– напряжения в дисковой части модели при нагреве ступицы под посадку на ось (бандаж сажается после соединения дисковой части с осью).

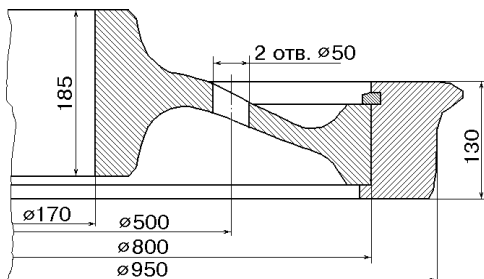


Рисунок 1 – Прототип математической модели

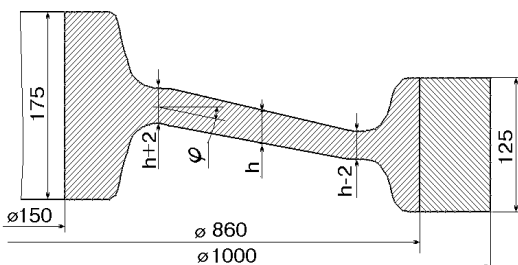


Рисунок 2 – Математическая модель

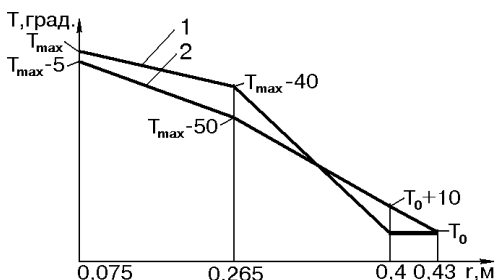


Рисунок 3 – Математическая модель температурного поля: 1 – поле в момент окончания нагрева (используется для определения максимальных температур и напряжений); 2 – поле в момент сборки – через 1 мин. после окончания нагрева (используется для определения расширения ступицы в момент сборки)

Метод решения. В качестве прототипа математической модели было взято колесо маневрового тепловоза (рис. 1) [3]. Модель (рис. 2) отличается от реального колеса переменным углом наклона дисковой части φ (от 0 до 30 град.), толщиной дисковой части h (от 0,02 до 0,05 м). При этом дисковая часть детали имеет линейно-переменную толщину: у ступицы она равна $h + 0,002$ м, в зоне перехода в бандаж – $h - 0,002$ м (в реальной конструкции $\varphi = 21^\circ$, $h = 0,031$ м). Величина натяга δ_1 в соединении диск-ось постоянна: $\delta_1 = 0,1$ мм; натяг δ_2 в соединении бандаж-диск составляет 0,2 или 0,4 мм, также рассматривается цельнокатаная конструкция. Все натяги даны как разность радиусов. Модель температурного поля построена на основе экспериментально полученного температурного поля нагрева ступицы колеса тепловоза под посадку на ось [4] (рис. 3). Модель представляется упругой системой, состоящей из колец и оболочек линейно-переменной толщины [1,5]. Угол наклона оболочки, ее толщина и значения натягов в модели могут изменяться. В расчетах

используется цилиндрическая система координат (r, z, θ) . Уровень максималь-

ных напряжений оценивается по эквивалентным напряжениям σ_e . Характеристики материала: модуль упругости $E = 2,0 \cdot 10^5$ МПа; коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$; коэффициент температурного расширения $\alpha = 0,1 \cdot 10^{-4}$ град $^{-1}$, температура окружающей среды $T_0 = 20$ град. Все расчеты выполнены в предположении упругого деформирования конструкции.

Результаты расчета. На рис. 4 представлены графики максимальных эквивалентных напряжений σ_e в собранной модели, посаженной на ось в зависимости от ее формы (толщины оболочечной части h , угла наклона ϕ) и значений натягов. В графиках цельнокатаная конструкция обозначается индексом «Ц», соединения с натягом 0,2 мм – индексом «Н», с натягом 0,4 мм – «Н2». Напряжения показаны в зоне контакта оси и ступицы и в области перехода ступицы в дисковую часть, уровень напряжений в других частях конструкции существенно ниже.

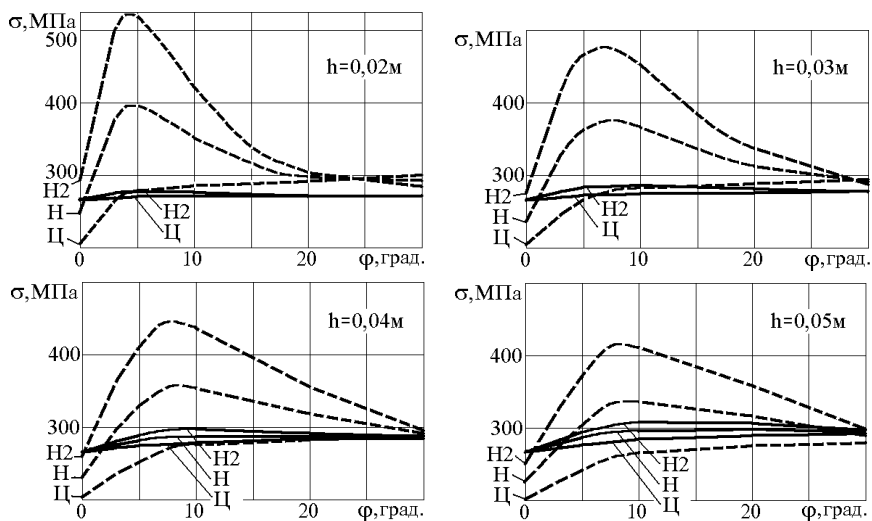


Рисунок 4 – Максимальные эквивалентные напряжения σ_e в собранной модели, посаженной на ось: — — зона контакта оси и ступицы; — — зона перехода ступицы в диск

На рис. 5 представлены максимальные эквивалентные напряжения σ_e в собранной модели при нагреве под посадку на ось в момент окончания нагрева, обусловленные неравномерным температурным полем и соединением ее частей с натягом. На рис. 6 приведены значения максимальных температур в конструкции в момент окончания нагрева в зависимости от формы модели и натяга в соединении колесного центра и бандажа, распределение температуры по радиусу детали см. рис. 3.

На рис. 7 представлены максимальные эквивалентные напряжения σ_e в

колесном центре при его нагреве под посадку на ось в момент окончания нагрева, на рис. 8 – максимальные температуры в момент окончания нагрева в зависимости от формы модели. При такой технологии сборки посадка бандажа осуществляется после соединения колесного центра с осью.

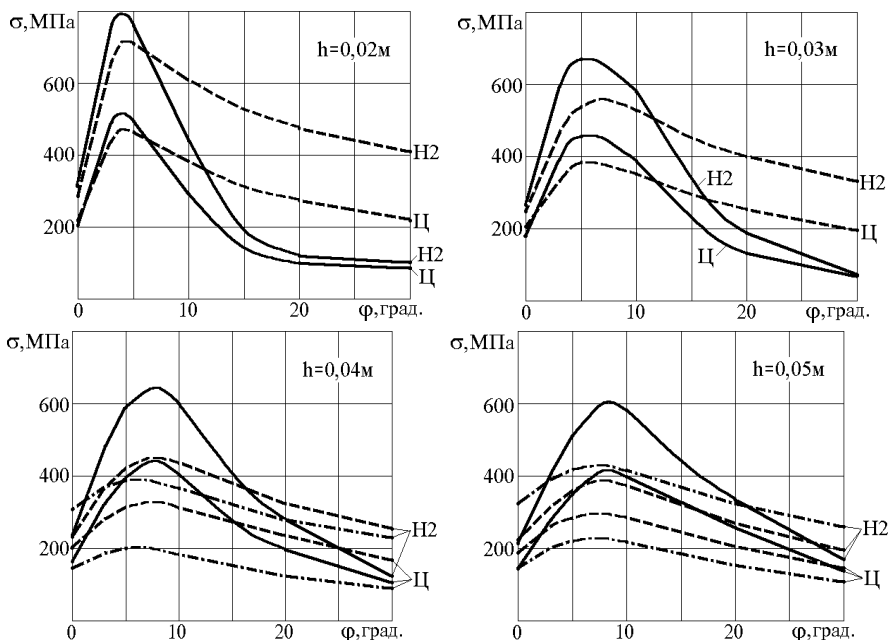


Рисунок 5 – Максимальные напряжения σ_c в собранной модели при нагреве ступицы под посадку на ось в момент окончания нагрева: — — зона перехода ступицы в диск, — — зона перехода ступицы в бандаж (венец); - - - зона контакта центра и бандажа

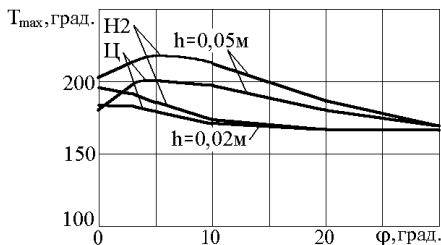


Рисунок 6 – Максимальные температуры в собранной конструкции при ее нагреве под посадку на ось в момент окончания нагрева

Таким образом, выполнено исследование напряженно-деформированного состояния характерной машиностроительной детали типа «обандаженный диск, посаженный на ось», включающей ступицу, дисковую часть, бандаж, с использованием математической модели в виде упругой системы нагруженной колец и оболочек линейно-переменной толщины.

Выводы. Исследовано влияние на НДС детали конструктивных факто-

ров (толщина дисковой части колесного центра, угол ее наклона) и технологических факторов (величина натяга соединения дисковая часть-бандаж в сопоставлении с монолитной конструкцией, максимальная температура нагрева). В модели были установлены зоны с высокими напряжениями:

- в зоне контакта оси и колесного центра;
- в зоне перехода ступицы в дисковую часть;
- в зоне перехода дисковой части в бандаж;
- в зоне контакта колесного центра и бандажа.

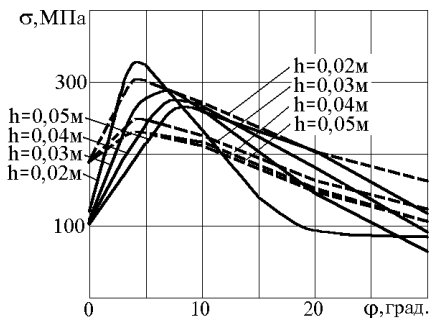


Рисунок 7 – Максимальные напряжения σ_e в колесном центре без бандажа при его нагреве под посадку на ось в момент окончания нагрева: — — зона перехода ступицы в диск, - - - зона перехода дисковой части в бандаж (венец)

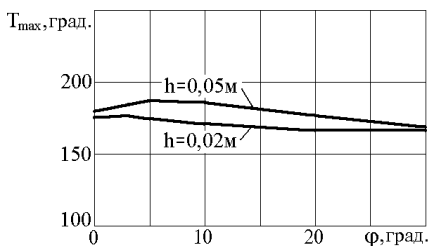


Рисунок 8 – Максимальные температуры в колесном центре без бандажа при нагреве ступицы под посадку на ось в момент окончания нагрева

-бандаж, толщина дисковой части и ее наклон практически не влияют на уровень напряжений в зоне соединения колесо-ось, в зоне перехода дисковой части в ступицу максимальные напряжения наблюдаются у диска с углом наклона 5-10°

Список литературы: 1. Коваленко А.Д., Григоренко Я.М., Лобкова Н.А. Расчет конических оболочек линейно-переменной толщины. – Киев, Изд-во АН УССР, 1961. – 328 с. 2. Зенкевич О. Ме-

тод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с. **3.** *А.Г.Андреев, Ю.М.Добровенский, С.В.Романов, О.В.Щепкин* Рациональное технологичное нагревания при сборці колісних пар залізничного рухомого складу // Вісник НТУ «ХП». – Вип. 31. – 2004. – С. 179-186. **4.** *Андреев А.Г., Щепкин А.В.* Оптимизация технологических нагревов бандажного колеса при сборке колесной пары тепловоза // Інформація по 2-й міжнародній науково-технічній конференції «Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве» Вісник інженерної академії України, Київ, 2000. – С. 415-418. **5.** *А.Г.Андреев, Г.Н.Багацкая, В.О.Галета, А.В.Щепкин* Исследование напряженно-деформированного состояния колеса тепловоза ТУ-7 при торможении // Отчет по х/т 21674, д.с. 986, N гос. регистрации 80052977, ВИНТИ N 0282.0062729, Харьков, 1982. – 149 с.

Поступила в редколлегию 18.04.2005

УДК (531.36+539.3):534.1

И.В.АНДРИАНОВ, докт.физ.-мат.наук,
А.О.ИВАНКОВ, канд.техн.наук, Приднeпрoская Академия
строительства и архитектуры, Днепропетровск;
М.В.МАТЯШ, канд.техн.наук, Днепропетровский национальный
университет

АППРОКСИМАЦИИ ПАДЕ И КОНТИНУАЛИЗАЦИЯ ДЛЯ ОДНОМЕРНОЙ ЦЕПОЧКИ МАСС

Розглядаються різні континуальні моделі (КМ) для одновимірного середовища. Як приклад вибрано диференційно-різницеве рівняння, що описує систему зв'язаних осциляторів. Звичайна континуальна апроксимація (КА) дає гарні результати для нижньої частини спектра, але для змушених коливань погіршеність може бути дуже великою. Ми розглядаємо три можливих узагальнення КА: проміжні КМ отримані при заміні різницевого оператора (РО) диференціальним порядку $2k$, $k > 1$; квазі-КМ, що дають більш точне наближення РО за допомогою апроксимації Паде; двохточечні апроксимації Паде, які дають найбільш точні результати. Обговорено можливі додатки й узагальнення.

Various continuous models (CM) for 1D discrete media are under consideration. As example the difference-differential equation, describing a system of connected oscillators, is chosen. String-type approximation shows excellent results for low part of frequency spectra, but for forced oscillations the corresponding mistake can be very big. So, the more appropriate CM should be found. We analyze three following models: the intermediate CM are obtained by replacing the difference operator (DO) for the derivative operator of the order $2k$, $k > 1$; the quasi-CM are more accurate approximations of the DO via Padé approximates (PA); the two-point PA give the most precise results. Possibilities of the approach generalization and application are discussed.

Введение. Учет микроструктурных эффектов важен при моделировании кристаллических, полимерных и композитных материалов [1-3], в механике трещин [4,5], при описании эффектов гистерезиса [6], упрочнения и ослабления [9], в механике разрушения [5,9], молекулярной динамике [7], теории пластичности [8], теории фазовых переходов [12]. Дисперсия волн в гранулиро-