

ций // Вестник НТУ «ХПИ». – 2003. – № 8, т. 3. – С. 77-82. 4. Михлин С.Г. Численная реализация вариационных методов. – М.: Наука, 1966. – 432 с., 5. Васидзу К. Вариационные методы в теории упругости и пластичности. – М.: Мир, 1987. – 542 с.

*Поступила в редколлегию 04.06.2007*

УДК.621.757.083

**И.Л.ОБОРСКИЙ**, канд.техн.наук, Киевский национальный университет технологий и дизайна; **А.П.ЗВОНАРЕВА**, **А.В.ЩЕПКИН**, НТУ «ХПИ»; **В.И.ДУДИНСКИЙ**, Киевский национальный университет технологий и дизайна

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СБОРКИ СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ, ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫХ С ТЕРМОВОЗДЕЙСТВИЕМ**

На основі порівняльних даних аналітичних і експериментальних досліджень визначено величину збільшення діаметра посадки бандажа складеного колеса електровагона при його нагріванні.

By means of the comparative data of the analytical and experimental researches, the value of increase of the fit diameter of electrocar built-up wheel bandage at its heating is determined.

### **Постановка проблемы**

Одной из наиболее актуальных для технологии машиностроения проблем является создание соединений с натягом с повышенными эксплуатационными показателями, которые могут быть в целом ряде случаев получены путем использования сборки с термовоздействием, при которой обеспечивается соединение деталей с временно образованным зазором. Решение проблемы неразрывно связано с установлением номенклатуры нормативных сборочных параметров, оценкой их величин и совершенствованием при этом технологических процессов сборки в целом. Это требует создания нормативной базы выбора множества взаимосвязанных технологических и конструктивных параметров, использование которой позволит производителям при минимальных затратах получать соединения с натягом.

### **Анализ предыдущих исследований**

В работах [1-2] установлены взаимодействующие во времени и пространстве связи и физические закономерности протекания операций технологического процесса сборки соединений с натягом, осуществляемых с использованием нагрева и низкотемпературного охлаждения. Разработаны некоторые направления повышения их качества и автоматизации процесса, выпол-

нена оценка отдельных основных показателей. Приводится основная номенклатура технологических и конструктивных параметров процесса сборки соединений деталей с натягом, осуществляемых термическими способами, и проведена оценка их величин.

Однако для определения сборочных параметров, оценивающих возможность качественной и экономически обоснованной технологии сборки соединений с натягом, формируемых термовоздействием, необходимо проведение сравнительных исследований по определению рациональной величины увеличения диаметра посадки бандажа составного колеса электровагона при его нагревании.

### **Цель работы**

Разработка методологии выбора рациональных нормативных технологических и конструктивных сборочных параметров, обеспечивающих высококачественную и экономически целесообразную технологию сборки соединений с натягом, осуществляемых с термовоздействием.

### **Результаты проведенных исследований**

Для осуществления качественной сборки соединений с натягом с временно образованным зазором необходимо обеспечить в начальный момент установки охватываемой детали в охватывающую необходимую величину  $\Delta d$  разности диаметров собираемых деталей. Она должна быть больше значения зазоров  $S_H$  и  $S_{мин}$  в момент начала контакта и соединения деталей без заклинивания. Обеспечить величину  $\Delta d$  возможно правильно выбрав температуру термовоздействия на сопрягаемые детали.

В настоящее время в производстве при сборке соединений с натягом термическими методами находят широкое применение нестационарные режимы термовоздействия. Для реализации процесса сборки предварительно определяют необходимую величину увеличения при нагревании или уменьшения при низкотемпературном охлаждении диаметра посадки (перемещение), что должно обеспечить заданный временной сборочный зазор, который исключит повреждение сопрягаемых поверхностей. Это необходимо осуществлять с учетом толщины стенок осесимметричных деталей [3-5].

Ниже приведены данные расчетно-экспериментальных исследований МКЭ и расчетные значения, выполненные на основании аналитических зависимостей. При этом предварительно исследовался закон изменения температуры бандажа при его нагреве, измерялись перемещения на диаметре посадки, а затем выполнялся расчет.

На рис. 1 представлено поперечное сечение спицевого колеса электровагона, для которого был выполнен расчет МКЭ расширения бандажа при его нагреве для последующей посадки на колесный центр. Бандаж рассматривался как тело вращения и был разбит на тороидальные КЭ треугольного попе-

речного сечения (рис. 2), число элементов – 253, узлов – 153, матрица жесткости состоит из 13158 чисел.

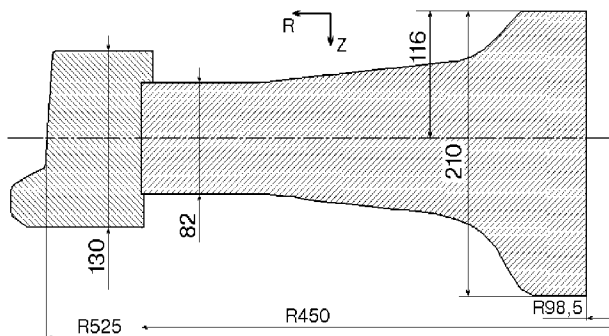


Рисунок 1 – Поперечное сечение спицевого колеса электровагона

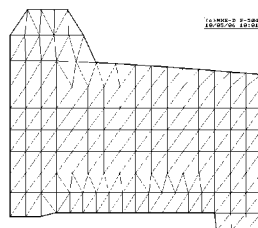


Рисунок 2 – Разбиение бандажа на КЭ

Характеристики материала бандажа:

- модуль упругости  $E = 2,1 \cdot 10^{-5}$  МПа;
- коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ ;
- коэффициент температурного расширения  $\alpha = 11,9 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>;
- коэффициент теплоемкости  $c = 460$  Дж/кг · град;
- удельная плотность  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>.

В табл. 1 приведены значения радиуса бандажа, соответствующие местам расположения термопар, в табл. 2 – температура в этих точках в процессе нагрева и охлаждения. Нагрев детали продолжается 15 мин. В табл. 3 приведены значения расширения бандажа по радиусу в нескольких точках и значение тепловой энергии, накопленной в нем. Схема расположения точек, в которых даются значения расширения бандажа и представлена на рис. 3. Предполагается, что температура меняется между термопарами по линейному закону в радиальном направлении, в осевом и окружном направлении она постоянна. На рис. 4 показана схема деформации нагретого бандажа в момент окончания нагрева.

При подводе тепла по наружной поверхности цилиндра и законе распределения температуры по толщине по линейному закону вида [3-4]

$$T = T_i (1 - (r_2 - r)/(r_2 - r_1)), \quad (1)$$

где  $T_i$  – температура на наружной поверхности цилиндра;  $r_2$ ,  $r_1$  и  $r$  – радиусы, соответственно, наружный, внутренний и текущий.

Таблица 1 – Расположение термопар на бандаже

№ термопар	1	2	3	4	5	6
Радиус, мм	545	520	505	490	470	450

Таблица 2 – Температура в бандаже в процессе нагрева и охлаждения составного колеса электровагона, град. °С

	№ тер-мопар	1	2	3	4	5	6
Время на-грева, мин.	14'	314	314	298	274	244	208
	15'	320	320	314	288	260	221,5
Время ох-лаждения, мин.	0,5'	310,5	310,5	290	269,5	252	240,5
	1,0'	298,5	296,5	276	264	248	228
	2,0'	281,0	280	270	256,5	245,5	233,5
	3,0'	264	260	257	253,5	245,5	236

Таблица 3 Расширение бандажа в результате действия температурного поля

Время тер-мовоздей-ствия, мин.	Тепловая энергия, МДж	Радиальное расширение, $\mu \cdot 10^6$ , м			
		1	2	3	4
14'	30,352	1379	1387	1303	1248
15'	31,887	1440	1451	1378	1327
15,5'	30,697	1392	1395	1330	1292
16'	29,544	1338	1342	1281	1245
17'	28,745	1293	1298	1257	1232
18'	27,856	1245	1250	1229	1216



Рисунок 3 – Схема расположения точек, в которых даются значения расширения бандажа: точки 2, 3 находятся на краях поверхности контакта бандажа и колесного центра после сборки

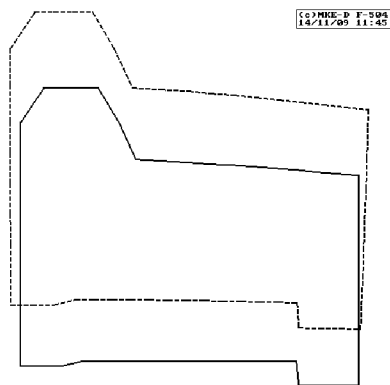


Рисунок 4 – Схема деформации нагретого бандажа в момент окончания нагрева

С учетом (2.1) и данных литературы [3 - 4] получим зависимость для определения перемещения на внутреннем радиусе  $r_1$  без учета поворота поперечного сечения детали, обусловленного несимметричностью формы сечения и неравномерностью нагрева в осевом направлении

$$U_{r1}(r_1) = (\alpha T/3) ((3 + 2m)/(2 + m)) r_1, \quad (2)$$

где  $m = r_2/r_1 - 1$ .

При подводе тепла по наружной поверхности цилиндра и законе распределения температуры по толщине вида [3-4]

$$T = T_i [\ln(r_2/r) / \ln(r_2/r_1)] \quad (3)$$

зависимость для определения перемещения на внутреннем радиусе  $r_1$

$$U_{r1}(r_1) = [r_1/(r_2^2 - r_1^2)] \alpha T \{r_2^2 - [(r_2^2 - r_1^2)/2 (\ln r_2 - \ln r_1)]\}. \quad (2/4)$$

Данные расчетов МКЭ и аналитического по определению величин перемещений имеют достаточно хорошее совпадение результатов и проверены в условиях реального производства на натуральных деталях.

### Выводы

Анализ расчетно-экспериментальных данных позволил уточнить рациональный перепад температур между сопрягаемыми деталями, необходимый уровень нагрева  $T_n$  охватывающей детали, обеспечить выбор соответствующих теплоносителей и оснащения для выполнения операций термовоздействия.

**Список литературы:** 1. *Оборский И.Л., Зенкин А.С., Климаш В.Г.* Определение параметров процесса сборки соединений деталей с натягом с временно образуемым зазором // Изв. вузов: Машиностроение. – М.: 1983. – С. 140-143. 2. *Зенкин А.С., Арпентьев Б.М.* Сборка неподвижных соединений термическими методами. – М.: Машиностроение, 1987. – 128 с. 3. *Тимошенко С.П.* Соппротивление материалов. Т.1. – М.-Л.: 1945. – С. 216-241. 4. *Тимошенко С.П.* Курс теории упругости / Ред. *Григлюк Э.И.* – К.: Наукова думка, 1972. – 507 с. 5. *Тимошенко С.П., Гудьер Дж.* Теория упругости. – М.: Наука, 1979. – 560 с.

*Поступила в редколлегию 15.05.2006*

УДК.539.3:621.313

**Э.С.ОСТЕРНИК**, канд.техн.наук; завод «Электротяжмаш», Харьков

### О СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СТАТОРА ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Запропоновано метод розрахунку динаміки пазової частини обмотки статора. Метод побудовано на експериментах над матеріалами стрижня обмотки і його моделлю. Враховані анізотропія матеріалів, поперечний зсув, хвильовий характер коливання та стохастичність механічних характеристик матеріалів. Варіаційне моделювання враховує реальну конструкцію закріплення стрижнів. Це дозволяє оцінити надійність турбогенератора в експлуатації.

The method for calculating the dynamics of the winding side of embedded stator is offered. This method is based on experiments over the materials of the winding bar and its model. Anisotropy of materials, in-plane shear, wave-like behavior of vibrations, and stochasticity of mechanical properties of materials are taken into consideration. Variational simulation takes into account the actual construction of bar fixing. It allows to evaluate the turbogenerator reliability in the process of operation.