

напряжения на порядок меньше (так как изгибающие усилия на порядок меньше усилий в плоскости диска).

Поступила в редколлегию 03.09.2001

УДК 629.11.012

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В СОСТАВНОМ КОЛЕСЕ ЭЛЕКТРОВАГОНА ПРИ СБОРКЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННОГО ТЕРМИЧЕСКОГО СПОСОБА**

А.Г.Андреев, В.Н.Иванова, И.Л.Оборский, А.В.Щепкин

*Национальный технический университет "ХПИ", Харьков; Киевский государственный университет технологии и дизайна, Украина*

On the basis of the available experimental data the systematic numerical research of one piece rolled railroad car wheel were made using technological heating by induction-heating devices which allowed the establishment of the laws of the stress-strain state of the wheel set elements, during its thermal assembly.

Объектом исследования является составное спицевое колесо электровагона подвижного состава железнодорожного транспорта. Колесо (рис. 1) включает бандаж и центр, которые соединяются посадкой с натягом 1,0 — 1,4 мм. Первоначально согласно технической документации предполагалось использовать натяг в интервале 0,5 — 1,4 мм. Однако процесс эксплуатации показал низкую статическую и эксплуатационную прочность соединений, что привело к необходимости увеличения минимального значения натяга. Однако и в этом случае при резких и длительных сдвигах при трогании поезда, при переходах по стрелках и, особенно часто, при торможении наблюдались случаи сдвига бандажа относительно центра, что может привести к аварийной ситуации.

Поэтому актуальным является разработка мер для обеспечения высоких эксплуатационных характеристик колеса, таких как модернизация его конструкции, разработка более прогрессивной технологии формирования посадок с натягом с использованием комбинированного термического способа с нагревом бандажа и низкотемпературным охлаждением центра в среде жидкого азота. Следует отметить, что в литературе отсутствуют данные о напряженно-деформированном состоянии составного колеса, что требует восполнения существующего пробела.

В качестве метода расчетного исследования напряженно-деформированного состояния элементов колеса принят МКЭ [1] с использованием программного комплекса COSMOS. Были созданы расчетные конечноэлемент-

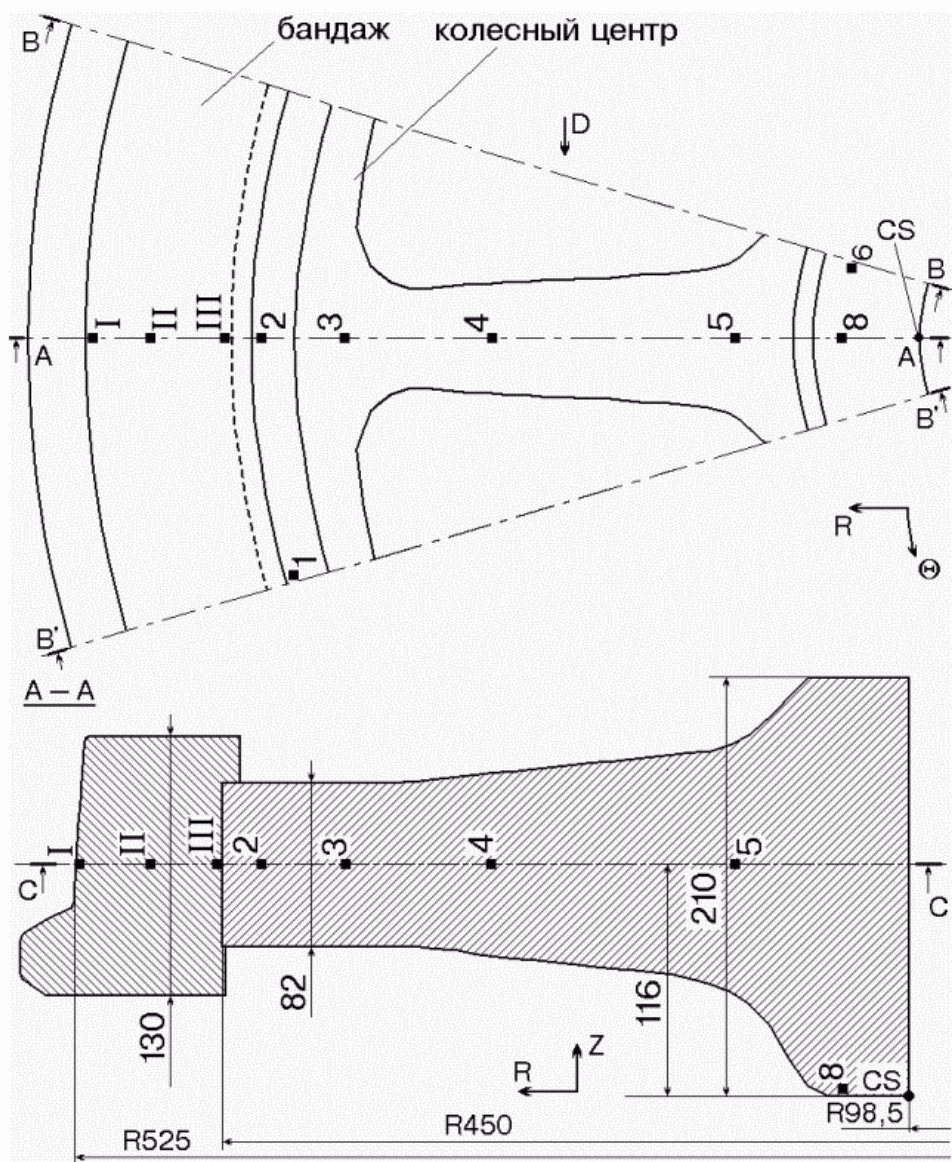


Рис. 1. Вагонное спицевое колесо

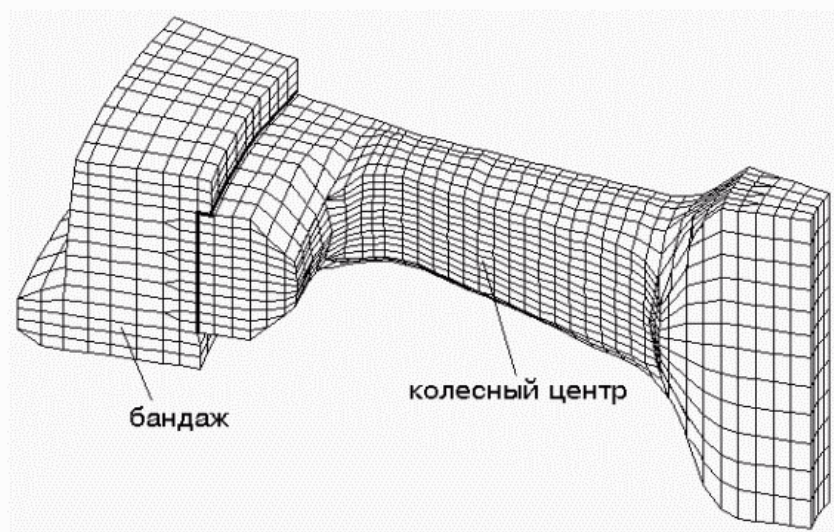


Рис. 2. Разбиение детали на КЭ.

тные модели: колесного центра, бандажа и колеса в сборе (рис. 2, табл. 1). Применен призматический изопараметрический КЭ с восемью узлами. При этом учитывались циклическая симметрия детали в окружном направлении.

Таблица 1. Характеристики конечноэлементных моделей

Тип модели	Число узлов	Число КЭ	Половина ширины ленты	Размер матрицы жесткости, чисел
Бандаж	1397	1050	891	1,28 млн.
Колесный центр	3814	3000	1095	3,81 млн.
Колесо в сборе	5068	4050	1223	5,76 млн.

Таблица 2. Данные о распределении температур в колесном центре при его охлаждении, использованные в расчетах, град. С

Момент времени	N термопары						
	8	6	5	4	3	2	1
30 с.	-10	-16	-35	-45	-40	-10,5	-16,5
120 с.	-90	-70	-110	-120	-115	-60	-80
300 с.	-	-120	-195	-195	-185	-125	-145

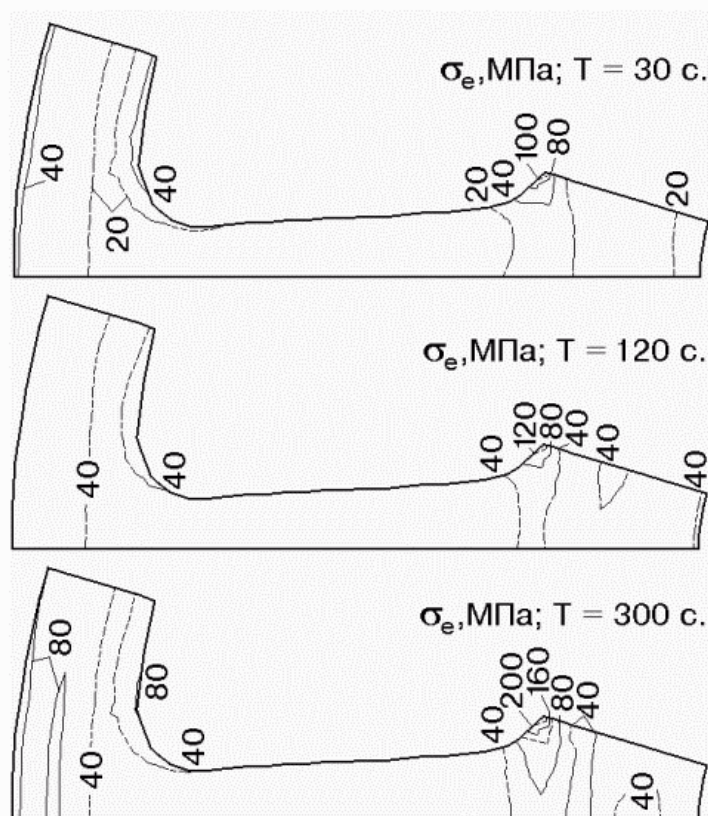


Рис. 3. Распределение эквивалентных напряжений  $\sigma_e$  в колесном центре в сечении С при его охлаждении для сборки.

Характеристики материала: коэффициент Пуассона  $\nu = 0,3$ ; модуль тн  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа; коэффициент линейного расширения  $\alpha = 11 \cdot 10^{-6}$  град $^{-1}$ .

На рис. 1 цифрами I,II,III и 1,2,3,4,5,6,8 обозначены термопары. Исходя из имеющихся данных, температурное поле в детали с помощью специальной программы задавалось в виде 4 графиков:

- внутри детали в сечении А (см. рис. 1);
- на поверхности в сечении А;
- внутри детали в сечениях В или В';
- на поверхности в сечении В или В'.

В промежуточных областях температура изменялась по линейному закону. В табл. 2 приведены экспериментальные данные о распределении температур, использованные в расчете. Время охлаждения колесного центра составляло 300 с.; одновременно проводился нагрев бандажа.

На рис. 3 показано распределение эквивалентных напряжений  $\sigma_e$  в колесном центре в сечении С (см. рис. 1) при его охлаждении для сборки колеса в моменты времени 30, 120 и 300 секунд; в табл. 3 приведены данные о максимальных напряжениях в детали. Как показали результаты расчета, наибольшие напряжения наблюдаются в детали в момент окончания охлаждения в 300 с. При этом радиальные напряжения  $\sigma_r$  изменяются от -25 Мпа во внутренней части ступицы до 65,3 Мпа в галтели перехода от спицы к ступице. Окружные напряжения  $\sigma_e$  изменяются в интервале от -85 Мпа в ободе до 315 Мпа в галтели перехода от спицы к ступице. Там же максимального значения в 279 Мпа достигают эквивалентные напряжения  $\sigma_e$ .

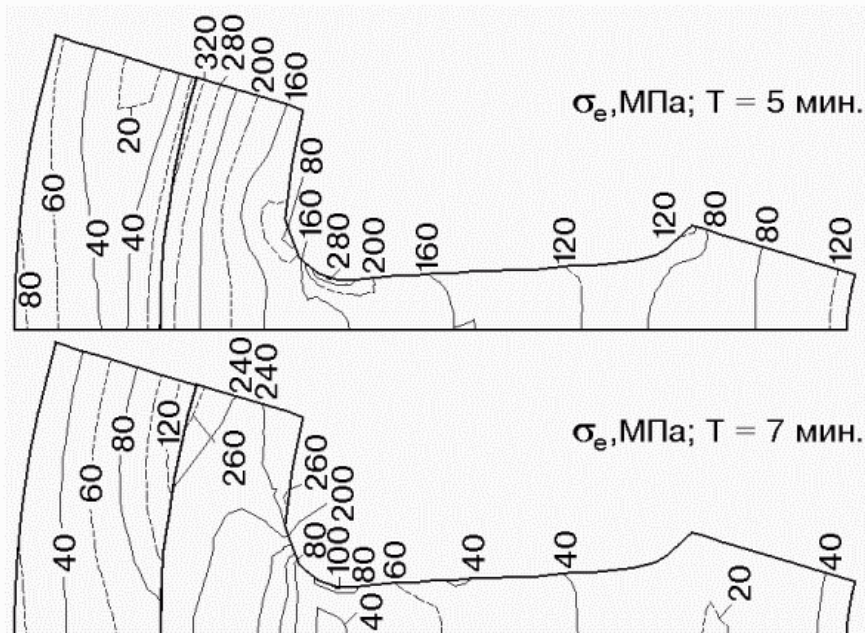


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений  $\sigma_e$  в колесе в сечении С в моменты времени 5 и 7 мин. после сборки.

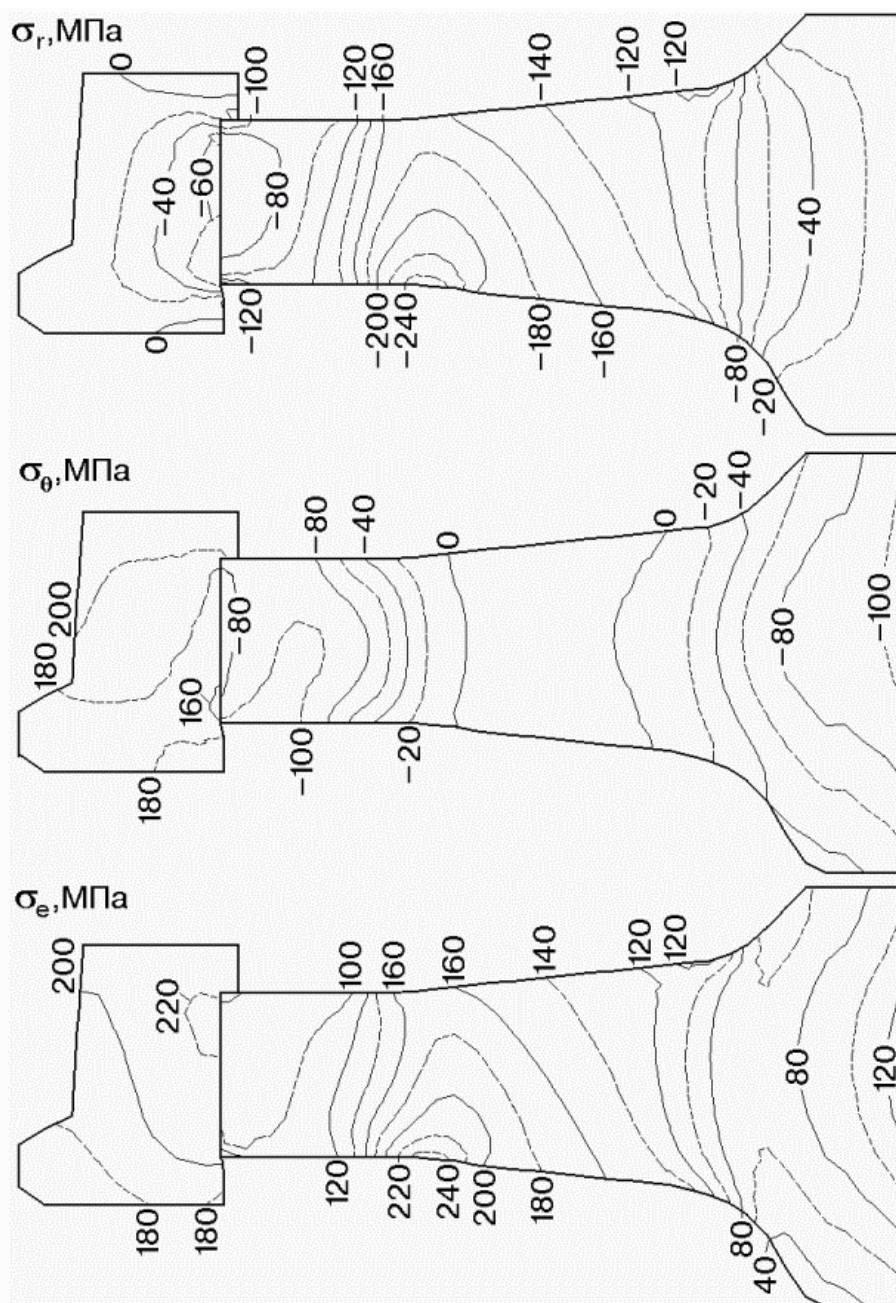


Рис. 5. Распределение напряжений в колесе в сечении А, обусловленное соединением его частей посадкой с натягом, после выравнивания температур в детали.

После охлаждения колесного центра и нагрева бандажа производилась сборка колеса. В табл. 4 приведены данные о распределении температур в колесе после его сборки, использованные в расчете, в 5 и 7 мин. с момента сборки. В расчетах предполагалось, что бандаж контактирует с колесным центром по всей поверхности соединения, а также отсутствие сил трения в соединении.

На рис. 4 показано распределение эквивалентных напряжений  $\sigma_e$  в колесе в сечении С после сборки в моменты времени 5 и 7 мин.; в табл. 5 приведены данные о максимальных напряжениях в детали. Как видно из

полученных данных, максимальные радиальные напряжения  $\sigma_r$  в колесе в процессе формирования натяга наблюдаются в галтели перехода обода к спице; максимальные окружные напряжения  $\sigma_\theta$  - в колесном центре в зоне контакта с ободом; максимальные эквивалентные напряжения  $\sigma_e$  - в обоих упомянутых выше частях центра.

Таблица 3. Максимальные напряжения в колесном центре в процессе охлаждения, МПа

Момент времени	Тип напряжения	Координаты			Значение, МПа
		R, мм	Θ, град.	Z, мм	
30 с.	$\sigma_r$	180	343,65	86	34,6
	$\sigma_\theta$	184,7	343,65	131	153,3
	$\sigma_e$	184,5	343,63	96	134,8
120 с.	$\sigma_r$	419,9	358,64	75	48,4
	$\sigma_\theta$	184,7	343,65	131	192,5
	$\sigma_e$	184,5	343,63	96	170,7
300 с.	$\sigma_r$	180	343,65	86	65,3
	$\sigma_\theta$	184,7	343,65	131	315,0
	$\sigma_e$	184,5	343,63	96	279,0

Таблица 4. Данные о распределении температур в детали при ее сборке, использованные в расчетах, град. С

Момент времени	N термопары							
	8	5	4	3	2	III	II	I
5 мин.	-148	-141	-120	-25	22	82	98	118
7 мин.	-133	-126	-105	0	9	25	38	52

Таблица 5. Максимальные напряжения в детали в процессе сборки, МПа

Момент времени	Тип напряжения	Координаты			Значение, МПа
		R, мм	Θ, град.	Z, мм	
5 мин.	$\sigma_r$	359,8	356,1	102,0	298,0
	$\sigma_\theta$	450,0	343,65	157,0	-372,7
	$\sigma_e$	450,0	343,65	157,0	380,2
7 мин.	$\sigma_r$	370,0	355,82	88,0	117,5
	$\sigma_\theta$	450,0	343,65	75,0	-297,0
	$\sigma_e$	394,6	349,91	134,5	280,9

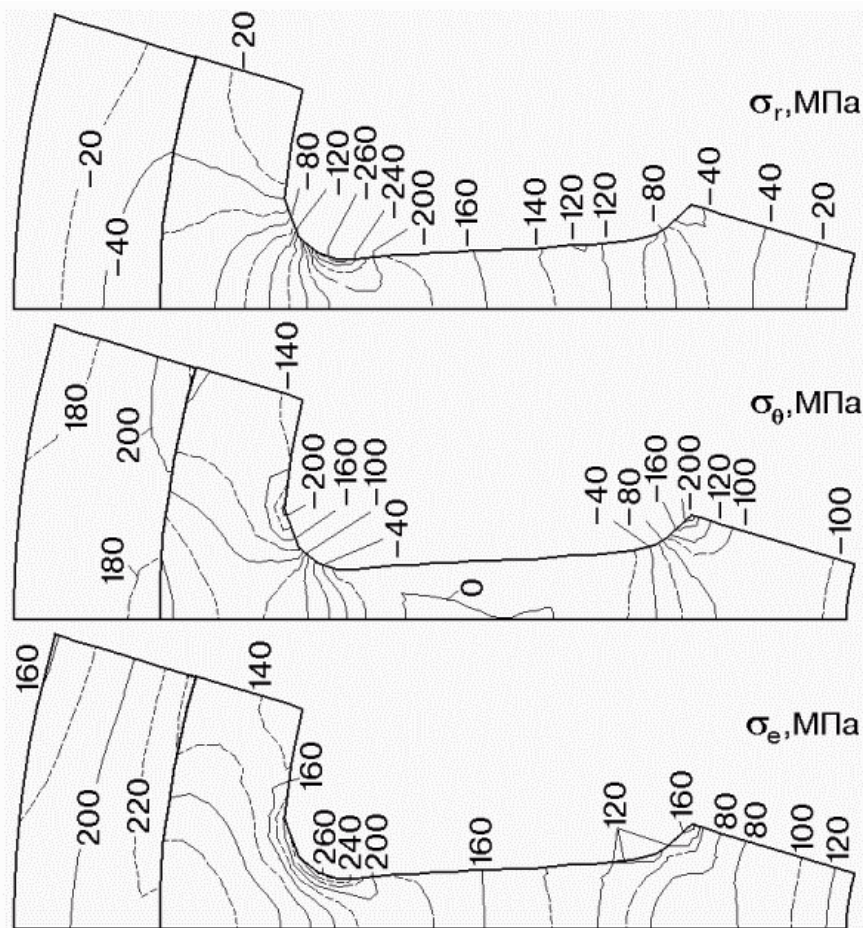


Рис. 6. Распределение напряжений в колесе в сечении С, обусловленное соединением его частей посадкой с натягом, после выравнивания температур в детали.

На рис. 5 показано распределение радиальных  $\sigma_r$ , окружных  $\sigma_\theta$  и эквивалентных  $\sigma_e$  напряжений в колесе в сечении А после его сборки, обусловленное соединением его частей посадкой с натягом; на рис. 6 даны те же напряжения в сечении С; на рис. 7 даны те же напряжения в сечении В и вид по стрелке D; в табл. 6 приведены данные о максимальных напряжениях в детали. На рис. 8 показана схема деформации колеса, обусловленная соединением его частей посадкой с натягом.

Радиальные сжимающие напряжения  $\sigma_r$  в зоне контакта составляют 20 - 120 Мпа, максимального значения -314,4 МПа достигают на поверхности спицы. Окружные напряжения  $\sigma_\theta$  в бандаже максимальны в промежутке между спицами (258,3 МПа); в колесном центре - в зоне большого буртика (-226,8 МПа). Эквивалентные напряжения  $\sigma_e$  в зоне контакта деталей составляют в бандаже 200 - 250 Мпа, причем наибольшее значение достигается в промежутке между спицами (252,4 МПа). В колесном центре максимальная концентрация напряжений наблюдается на боковой поверхности в средней части спицы (304,7 МПа) и в зоне большого буртика.

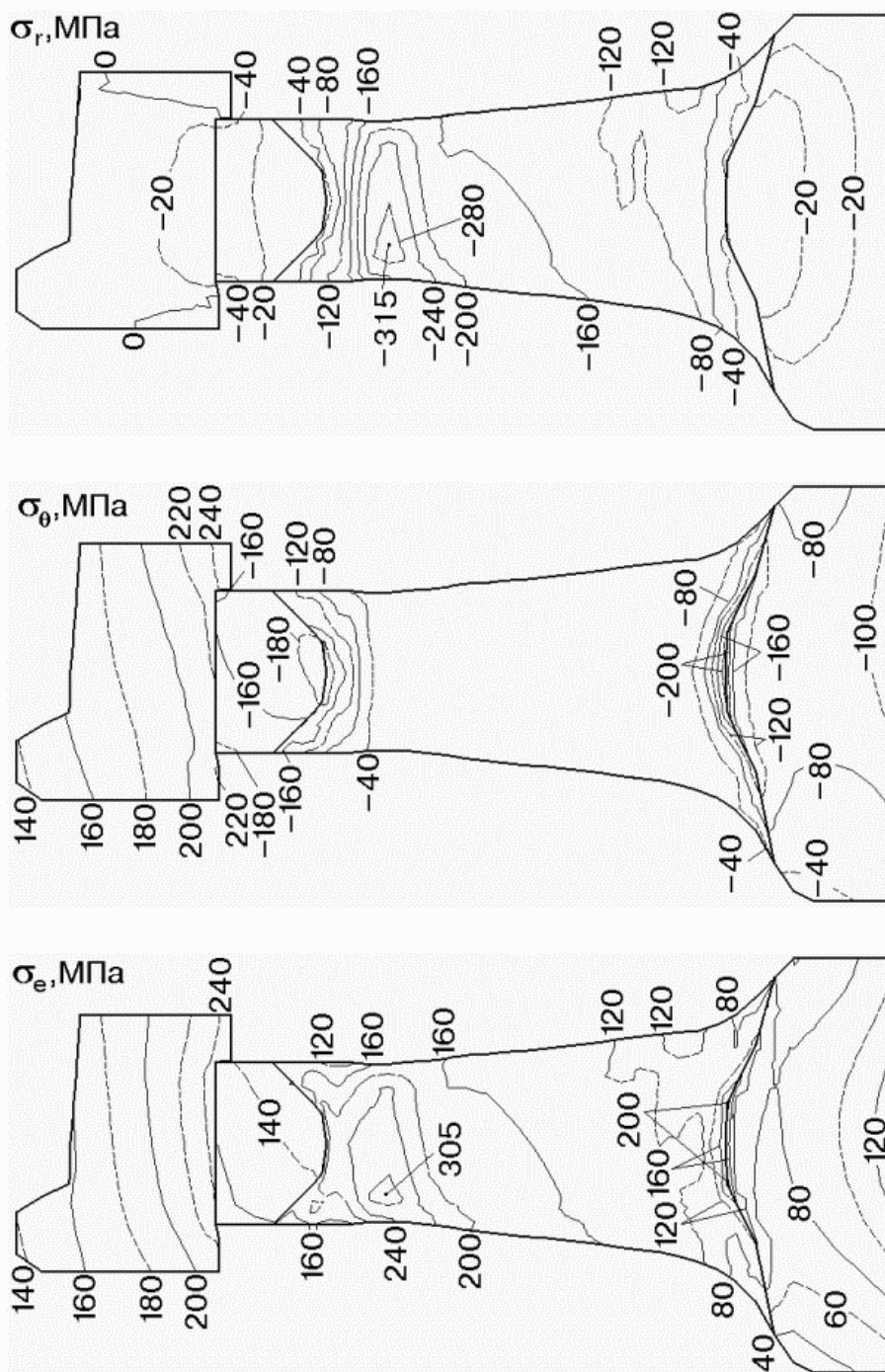


Рис. 7. Распределение напряжений в колесе в сечении В и вид их по стрелке D, обусловленный соединением частей колеса посадкой с натягом, после выравнивания температур в детали.

Согласно проведенным расчетам, наибольшие напряжения наблюдаются в переходных частях спицы к ободу и ступице собранного остывшего колеса и в процессе схватывания колеса в момент времени 5 минут. В процессе сборки в отдельных точках детали напряжения достигают значений, близких к прочностным характеристикам, что требует проведения операций сборочного процесса без резких ударных нагрузок.



Таблица 6. Максимальные напряжения в собранной детали, МПа

Тип напряжения	Координаты			Значение, МПа
	R, мм	$\Theta$ , град.	Z, мм	
	бандаж			
$\sigma_r$	450,0	0	81,8	-80,0
$\sigma_\theta$	441,8	343,34	158,0	258,3
$\sigma_z$	450,0	343,65	150,2	252,4
	колесный центр			
$\sigma_r$	359,8	356,18	88,0	-314,4
$\sigma_\theta$	184,7	343,65	131,0	-226,8
$\sigma_z$	359,8	356,18	88,0	304,7

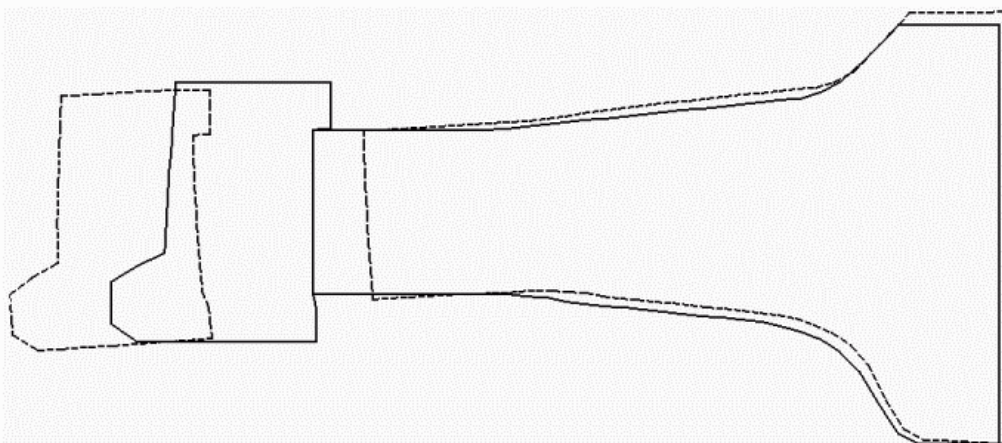


Рис. 8. Схема деформации колеса, обусловленная соединением его частей посадкой с натягом, после выравнивания температур.

Таким образом, можно констатировать, что использование низкотемпературного охлаждения центра в среде жидкого азота не оказывает вредного воздействия на материал и конструкцию последнего и может рекомендовано для применения в технологии комбинированной термической сборки.

## Литература

1. Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. - М., Высшая школа, 1985. - 392 с.

Поступила в редколлегию 04.09.2001