

В. Ф. Макаров, С. М. Белобородов, А. Ю. Ковалев

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МИНИМИЗАЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ ДИСБАЛАНСОВ РОТОРА

Предложен расчетный метод минимизации локальных дисбалансов ротора. Разработаны модели для расчета локальных дисбалансов ротора с несовпадающими рабочими и балансировочными поверхностями. Описана методика применения метода в технологическом процессе. Применение метода позволяет повысить точность изготовления роторов при уменьшении объема работ. *Ротор; дисбаланс; коррекция; эксцентриситет*

В процессе изготовления элементов ротора постоянно наблюдается значительное влияние погрешностей форм и расположения обработанных поверхностей деталей на точность изготовления самого ротора. Под точностью изготовления ротора понимается степень совмещения его главной центральной оси инерции с осью вращения, т. е. их взаимный эксцентриситет.

Современное массовое металлорежущее оборудование обеспечивает точность обработки поверхностей с погрешностью до 10 мкм по эксцентриситету (20 мкм радиального биения) и 5 мкм – по овальности и другим видам погрешности формы. При наличии других погрешностей: конусности, седловидности и др., возникает достаточно сложная картина возникновения дисбалансов. Многофакторность влияния заставляет оценить степень их влияния и пренебречь влиянием второстепенных. Так, при изготовлении ротора с несовпадающими балансировочными и рабочими поверхностями, например ротора с магнитными подшипниками, эксцентриситеты поверхностей участков вала ротора являются преобладающим фактором возникновения неуравновешенности, а влияние отклонений формы поверхностей участков вала (овальность, конусность, седловидность и т. д.) второстепенно. Ротор массой в 500 кг, например, после балансировки имеет дисбаланс, не превышающий 150 г·мм в каждой плоскости коррекции. После монтажа с эксцентриситетом 8 мкм, что является допустимой величиной погрешности обработки поверхности магнитных сердечников, дисбаланс в каждой плоскости коррекции составит по 2000 г·мм, что в 13 раз больше допустимой величины дисбаланса.

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДА

Вал 1 ротора (рис. 1) со смонтированными на нем магнитными сердечниками 2, 3 устанавли-

вается на измерительные призмы поверхностями А, Б. Относительно этих поверхностей производится измерение величины максимального биения поверхностей В, Г магнитных сердечников, а углы этих максимальных радиальных биений – относительно контрольной точки (К.Т.).

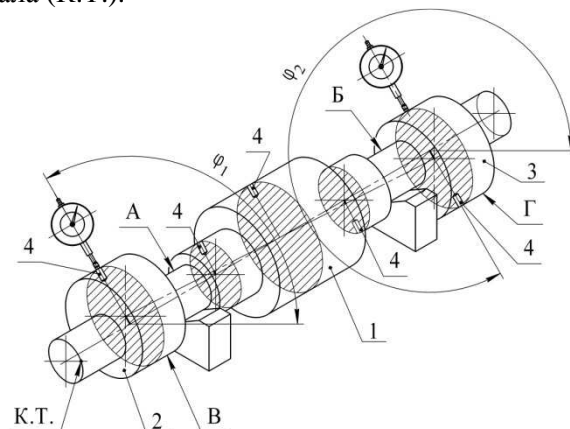


Рис. 1. Коррекция локальных дисбалансов участков вала

Разбивают вал на участки, определяют положение центров масс участков по длине, например с использованием САПР. Выбирают в качестве плоскостей коррекции дисбаланса плоскости поперечного сечения участков, которые проходят через центры масс участков.

Определяют координаты центров масс участков:

$$X_i = \frac{z_i - z_1}{z_2 - z_1} (x_2 - x_1) + x_1 - \frac{z_i - z_3}{z_4 - z_3} (x_4 - x_3) + x_3; \quad (1)$$

$$Y_i = \frac{z_i - z_1}{z_2 - z_1} (y_2 - y_1) + y_1 - \frac{z_i - z_3}{z_4 - z_3} (y_4 - y_3) + y_3, \quad (2)$$

где z_1, \dots, z_i – расстояние от начала координат до центра массы соответствующего участка; x_1, x_2, y_1, y_2 – координаты центров масс магнитных сердечников; x_3, x_4, y_3, y_4 – координаты центров масс участков вала, на которых производится измерение и балансировка (базовых участков).

Зависимости (1), (2) позволяют учесть качание базовой оси вследствие отклонения формы базовых поверхностей, однако в рамках данной статьи это не учитывается.

Определяют корректирующие массы из зависимости:

$$m_{\kappa_i} = \frac{2M_i \sqrt{X_i^2 + Y_i^2}}{D_i}, \quad (3)$$

где M_i – масса участка вала, D_i – диаметр участка вала, $\sqrt{X_i^2 + Y_i^2} = e_i$ – эксцентриситет центра исследуемого сечения.

Определяют углы мест снятия материала участков вала относительно контрольной точки вала из зависимости:

$$\varphi_{\kappa_i} = 180^\circ + \operatorname{arctg} \frac{Y_i}{X_i}. \quad (4)$$

Корректируют дисбаланс участков, при этом производят сьем металла в местах 4.

РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА

Для проверки метода коррекции локальных дисбалансов была решена задача (рис. 2). Отклонения формы базовых поверхностей в расчет не принимались.

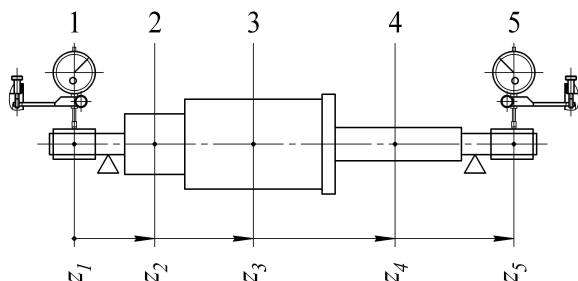


Рис. 2. Задача для проверки метода коррекции локальных дисбалансов

Дано:

- положение исследуемых сечений участков вала по длине $z_1 = 0,00$ мм, $z_2 = 20,08$ мм, $z_3 = 46,33$ мм, $z_4 = 82,00$ мм, $z_5 = 109,64$ мм;

- величина и направление эксцентриситетов центров средних сечений магнитных сердечников $e_1 = 30$ мкм, $e_5 = 47$ мкм, $\varphi_1 = 60^\circ 30'$, $\varphi_5 = 28^\circ 38'$.

Найти: величины e_i и направления φ_i эксцентриситетов центров исследуемых сечений участков вала.

Решение:

- координаты центров средних сечений магнитных сердечников:

$$x_1 = e_1 \cdot \cos \varphi_1 = 14,77 \text{ мкм};$$

$$y_1 = e_1 \cdot \sin \varphi_1 = 26,11 \text{ мкм};$$

$$x_5 = e_5 \cdot \cos \varphi_5 = 41,25 \text{ мкм};$$

$$y_5 = e_5 \cdot \sin \varphi_5 = 22,52 \text{ мкм};$$

по (1), (2) координаты центра исследуемого сечения 2-го участка вала (без учета отклонения формы базовых поверхностей):

$$X_2 = \frac{z_2 - z_1}{z_5 - z_1} \cdot (x_5 - x_1) + x_1 = 19,62 \text{ мкм};$$

$$Y_2 = \frac{z_2 - z_1}{z_5 - z_1} \cdot (y_5 - y_1) + y_1 = 25,45 \text{ мкм}.$$

Аналогично определяют координаты центров масс 3-го и 4-го участков вала. Величины e_i и направления φ_i эксцентриситетов центров исследуемых сечений участков вала определяют из зависимостей:

$$e_i = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2} \quad (5)$$

$$\varphi_i = \operatorname{arctg} \frac{Y_i}{X_i}. \quad (6)$$

Результаты вычислений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исследуемое сечение	X_i , мкм	Y_i , мкм	e_i , мкм	φ_i
1	14,77	26,11	30,00	$60^\circ 30'$
2	19,62	25,45	32,13	$52^\circ 22'$
3	25,96	24,59	35,76	$43^\circ 27'$
4	34,57	23,43	41,76	$34^\circ 08'$
5	41,25	22,52	47,00	$28^\circ 38'$

В табл. 2 представлены величины e_i и направления φ_i эксцентриситетов центров исследуемых сечений участков вала, определенные расчетным методом и геометрическим моделированием в САПР.

Таблица 2

Исследуемое сечение	Расчетный метод		Моделирование в САПР	
	e_i , мкм	φ_i	e_i , мкм	φ_i
1	30,00	$60^\circ 30'$	30,00	$60^\circ 30'$
2	32,13	$52^\circ 22'$	32,14	$52^\circ 22'$
3	35,76	$43^\circ 27'$	35,76	$43^\circ 27'$
4	41,76	$34^\circ 08'$	41,77	$34^\circ 07'$
5	47,00	$28^\circ 38'$	47,00	$28^\circ 38'$

Геометрическое моделирование в САПР осуществлялось с использованием метода, описанного в [1].

Сравнение результатов расчетов по предложенной модели и измерений с использованием моделирования этой ситуации в САПР (рис. 3) позволило убедиться в эффективности предложенного метода.

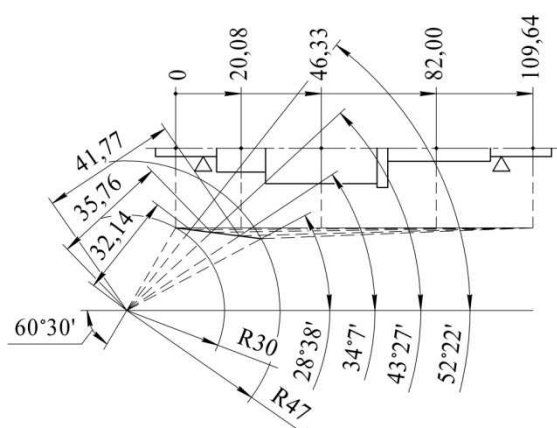


Рис. 3. Результат решения задачи моделированием в САПР

Учитывая, что современное программное обеспечение позволяет выполнять расчеты не только по единичным сечениям, можно утверждать, что при необходимости может быть выполнено поле расчетов с определением локальных дисбалансов участков вала любой малой длины. Это обеспечит введение множества плоскостей коррекции для ликвидации локальных дисбалансов малой дискретности. В идеале – коррекцию дисбаланса по всей длине вала. Из этой области будут исключены только посадочные поверхности и поверхности в зоне уплотнений. Причем любые из них могут находиться в зоне дискретного распределения плоскостей коррекции.

ВЫВОДЫ

Применение предлагаемого метода многократно снижает дисбаланс ротора, обусловленный эксцентриситетом его установки, обеспечивает коррекцию множества локальных дисба-

лансов по длине вала, позволяет вводить плоскости коррекции и рассчитывать корректирующие массы с использованием САПР, что дает возможность автоматизировать коррекцию локальных дисбалансов.

Использование метода при разработке технологических процессов сборки и балансировки позволяет минимизировать локальные дисбалансы ротора и влияние его упругих деформаций на рабочих частотах вращения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Белобородов С.М.** Методические аспекты обеспечения виброустойчивости валопровода агрегата // Компрессорная техника и пневматика. 2009. № 7.

ОБ АВТОРАХ

Макаров Владимир Федорович, зав. каф. технологии машиностроения Пермск. гос. техн. ун-та. Проф., д-р техн. наук. Иссл. в обл. технологического обеспечения минимизации локальных дисбалансов ротора.

Белобородов Сергей Михайлович, сотр. НПО «Искра», г. Пермь. Д-р техн. наук. Иссл. в обл. технологического обеспечения минимизации локальных дисбалансов ротора.

Ковалев Алексей Юрьевич, инженер, аспирант Пермск. гос. техн. ун-та. Иссл. в обл. технологического обеспечения минимизации локальных дисбалансов ротора.