

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФАКТИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДИ ЧАСТИЧНО-РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА ПРИ НАКАТЫВАНИИ

*И.С. БУКАНОВА, ст. преподаватель,
Е.Ю. ТАТАРКИН, доктор техн. наук, профессор,
(АлтГТУ им. И.И. Ползунова, г. Барнаул)*

Статья получена 10 февраля 2012 года

Буканова И.С. – 656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46,
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
e-mail: agtu-otm2010@mail.ru

Представлена методика расчета фактической площади частично-регулярного микрорельефа и вероятности ее получения имитационно-стохастическим моделированием для оценки прочности неподвижного соединения типа «корпус – втулка».

Ключевые слова: прочность, неподвижное соединение, частично-регулярный микрорельеф.

Прочность неподвижного соединения типа «корпус – втулка» определяется его способностью сопротивляться действию крутящего момента и (или) осевой сдвигающей силе. Качество неподвижных соединений в значительной мере определяется микрорельефом контактирующих поверхностей сопряжения и значительно повышается с нанесением на эти поверхности регулярного или частично-регулярного микрорельефа с последующим дорнованием соединения.

Для регуляризации микрорельефа охватываемой детали (корпуса) неподвижного соединения в данной работе используется накатывание профильным роликом. В конструкции накатной головки применяются накатные ролики с деформирующими элементами конусной или пирамидальной формы. Данный метод позволяет получать частично-регулярный микрорельеф (ЧРМР) с дискретными регулярными неровностями шахматного расположения по ГОСТ 24773. Параметры ЧРМР: θ – угол направления неровностей, h_y – осевой шаг и h_x – круговой шаг неровностей – определяются геометрией деформирующего элемента (ролика) накатника и продольной подачей. Другие параметры, такие как глубина неровностей h и фактическая площадь $S_{\text{ф}}$, занимаемая

регулярными неровностями, зависят от частоты вращения накатника, механических свойств охватываемой детали и определяются необходимыми значениями показателей прочности соединения.

Задачами исследования являются:

- стохастическое моделирование распределение неровностей частично-регулярного микрорельефа;
- статистическое распределение количества неровностей и суммарной фактической площади, занимаемой частично-регулярным микрорельефом.

Алгоритм формирования неровностей при накатывании заключается в следующем. За базу взят левый верхний угол развертки (рис. 1). Для каждого последующего следа координата по x увеличивается на h_x , по y – уменьшается на h_y . При выполнении условия $X > L$ (оборот закончен) значение координаты X уменьшается на величину длины развертки отверстия L (начало следующего оборота). Расчет заканчивается при получении $Y \leq 0$.

Второй ролик создает неровности, смещенные относительно неровностей первого ролика на величину

$$dx_2 = \frac{L}{3} + \varepsilon_1 h_x, \quad (1)$$

где ε_1 – случайное число, равномерно распределенное на интервале $(0;1)$. Это выражение определяется тем, что второй ролик смещен относительно первого на треть окружности (в конструкции накатника применяются три ролика, расположенные равномерно по окружности). С учетом того, что его фазовое положение при входе в контакт случайное, добавляется слагаемое εh .

Координаты неровностей от третьего ролика рассчитываются аналогично:

$$dx_3 = \frac{2L}{3} + \varepsilon_2 h_x. \quad (2)$$

При обратном ходе первый ролик входит в контакт при $Y = 0$ со случайной координатой $X \in (0; L)$. Далее координата X увеличивается на величину h_x , а Y – на величину h_y . При обратном ходе первый ролик входит в контакт при $Y = 0$ со случайной координатой $X \in (0; L)$. Далее координата X увеличивается на величину h_x , а Y – на величину h_y .

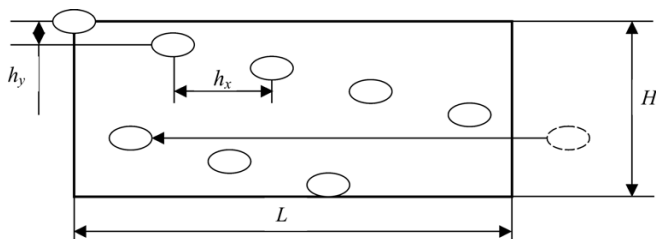


Рис. 1. Развертка отверстия корпуса на первом проходе

Расчет координат для второго и третьего роликов определяется с учетом случайных сдвигов dx_2 и dx_3 . Расчет заканчивается при получении $Y \geq H$. Одновременно с построением координат рассчитывается и количество неровностей N .

В связи с тем что алгоритм построения неровностей содержит случайные параметры ε_i , распределение неровностей также будет случайным. Некоторые из неровностей при прямом и обратном ходе накатника могут накладываться друг на друга. Положим, что каждая из неровностей имеет форму эллипса (для конусных деформирующих элементов) с полуосями a и b :

$$\frac{(X - X_C)^2}{a^2} + \frac{(Y - Y_C)^2}{b^2} = 1, \quad (3)$$

где X_C , Y_C – координаты центра эллипса; a , b – полуоси эллипса.

Критерием наложения эллиптических неровностей (пересечения эллипсов) является выражение

$$\sqrt{\left(\frac{X_{C1} - X_{C2}}{a}\right)^2 + \left(\frac{Y_{C1} - Y_{C2}}{b}\right)^2} < 2. \quad (4)$$

Площадь пересечения эллипсов 1 и 2 получается путем численного интегрирования на интервале $(X_{\min}, X_{\max})$ (рис. 2).

Суммарная фактическая площадь всех неровностей рассчитывается по формуле

$$S_{\Phi} = N a b \pi - S_{\Pi},$$

$$S_{\Pi} = \sum_{i=1}^K S_{i\Pi}, \quad (5)$$

где N – общее количество неровностей; $S_{i\Pi}$ – площадь i -го пересечения неровностей; K – количество налагающихся неровностей.

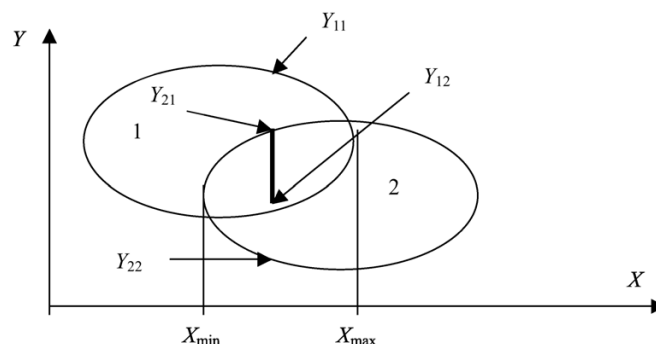


Рис. 2. Область интегрирования и координаты пересечения

Фактическая площадь является случайной величиной, и в результате стохастического моделирования будет получено N ее значений. Это дает возможность построить гистограмму распределения этого параметра и поставить задачу обеспечения заданной точности ее получения. На рис. 3 приведены примеры рассчитанных гистограмм распределений количества пересечений, площади пересечений и суммарной фактической площади неровностей.

Исходными данными для расчета гистограмм являются:

r – радиус ролика (мм); R – радиус отверстия в детали (мм); S – подача (мм/об); k – количество деформирующих элементов на ролике; H – высота отверстия (мм); N_p – количество расчетов для реализации стохастического моделирования.

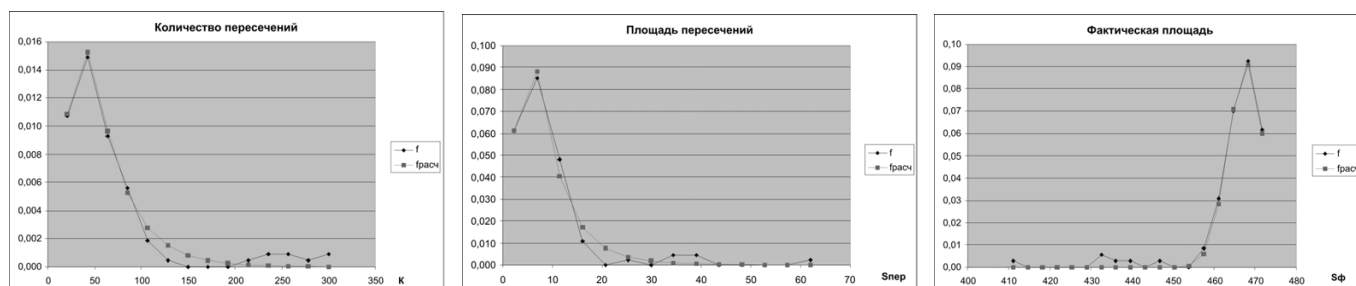


Рис. 3. Распределения параметров неровностей

С помощью критерия χ^2 установлено, что для количества пересечений и для суммарной площади пересечений можно использовать логарифмически нормальное распределение, а для фактической площади – нормальное распределение:

$$f(K) = \frac{1}{K\sigma_{KZ}\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln K - \ln K_0)^2}{2\sigma_{KZ}^2}\right),$$

$$f(S_{\Pi}) = \frac{1}{S_{\Pi}\sigma_{\Pi Z}\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln S_{\Pi} - \ln S_{\Pi 0})^2}{2\sigma_{\Pi Z}^2}\right),$$

$$f(S_{\Phi}) = \frac{1}{\sigma_{\Phi}\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(S_{\Phi} - S_{\Phi 0})^2}{2\sigma_{\Phi}^2}\right). \quad (6)$$

Для расчета параметров распределений (K_0 , σ_{KZ} , $S_{\Pi 0}$, $\sigma_{\Pi Z}$, $S_{\Phi 0}$, σ_{Φ}) используется метод наименьших квадратов и надстройка «Поиск решения» табличного процессора Excel с проверкой качества аппроксимации по критерию χ^2 .

В табл. 1 приведены исходные данные, принятые при проведении стохастического моделирования, а в табл. 2 – полученные значения параметров распределений.

Таблица 1

Исходные данные, принятые для проведения расчетов

Количество расчетов	N_p	200
Радиус ролика	r	12 мм
Радиус отверстия	R	30 мм
Подача	S	10 мм/об
Количество деформирующих элементов на ролике	k	16
Высота отверстия	H	50 мм
Радиусы эллипсов	a	0,5 мм
	b	0,25 мм

Значения параметров распределений

Количество пересечений		Площадь пересечений		Фактическая площадь	
K_0	σ_{KZ}	$S_{\Pi 0}$	$\sigma_{\Pi Z}$	$S_{\Phi 0}$	σ_{Φ}
50,002	0,5962	7,0599	0,6554	467,7988	4,3784

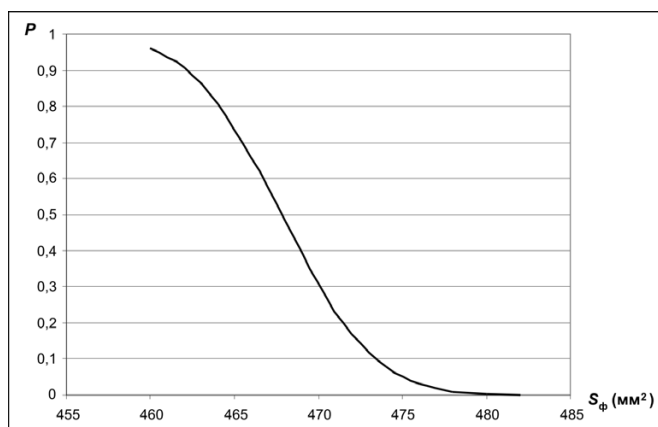
Необходимость получения аналитического выражения для плотности распределения связана с погрешностями анализа «хвостов» распределений. Аналитические выражения позволяют экстраполировать кривые и рассчитывать вероятности попадания анализируемых параметров на любой интервал, в том числе и близкий к граничным значениям.

При формировании соединения «корпус-втулка» необходимо не только обеспечить прочность этого соединения, но и гарантировать стабильность обеспечения этой прочности. В связи со стохастическими параметрами процесса накатывания возможно нарушение прочности соединения за счет снижения фактической площади формируемых неровностей из-за их наложения при накатывании.

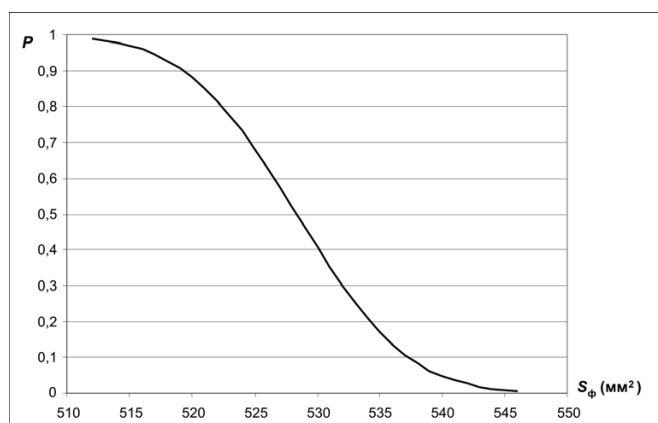
Вероятность получения заданной фактической площади S_{Φ}^* вычисляется по выражению

$$P = 1 - \int_0^{S_{\Phi}^*} f(S_{\Phi}) dS_{\Phi}. \quad (7)$$

Для стабилизации процесса накатывания значение P должно быть близко к единице. Чем больше значение P , тем стабильнее обеспечивается заданная площадь S_{Φ}^* . На рис. 4, а приведен график вероятности обеспечения заданной фактической плотности, полученный для параметров накатывания, указанных в



а



б

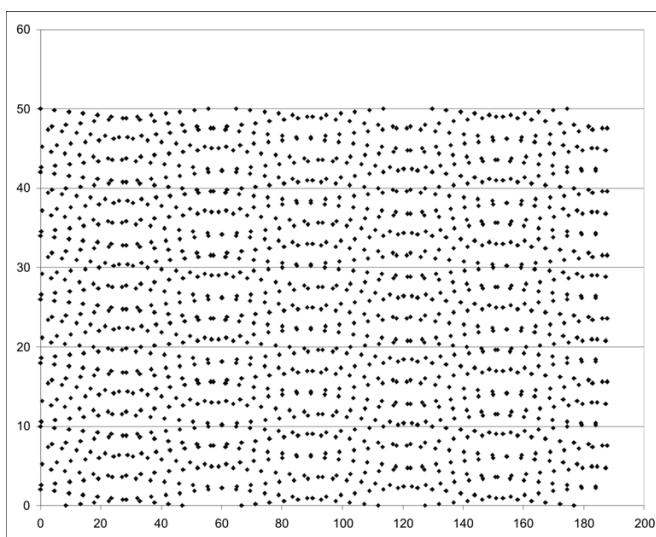
Рис. 4. Вероятность обеспечения заданной суммарной фактической площади для исходных данных из табл. 1:

а – для подачи $S = 10$ мм/об; б – для подачи $S = 8$ мм/об

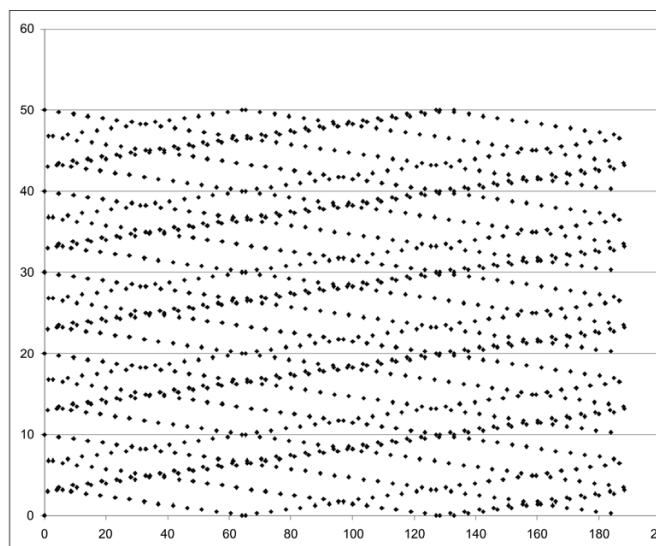
табл. 1 и 2. Из графика (рис. 4, а) видно, что с вероятностью $P > 0,8$ обеспечиваются значения площади не менее 464 мм^2 . При необходимости получения большей площади требуется изменение конструкции накатных роликов или изменение режимов накатывания.

Изменение конструкции роликов достаточно трудоемко и может применяться только при проектировании нового технологического процесса. Более доступным решением является снижение подачи. На рис. 5, а приведена развертка поверхности для тех же накатников, но при подаче $S = 8$ мм/об.

На рис. 5 видно, что неровности расположены значительно плотнее, чем при подаче $S = 10$ мм/об. При этом очевидно, что суммарная фактическая площадь неровностей значительно увеличится. Действительно, полученное анали-



а



б

Рис. 5. Примеры развертки поверхности отверстия:
а – $S = 8$ мм/об; б – $S = 10$ мм/об

тическое выражение для плотности распределения имеет вид

$$f(S_\phi) = \frac{1}{7.010\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(S_\phi - 582.34)^2}{2 \cdot 7.010^2}\right). \quad (8)$$

Анализ полученного выражения показывает, что снижение подачи на 22,2 % привело к возрастанию среднего значения фактической площади на 12,1 %, а среднеквадратичного отклонения – на 46,2 %.

Из графика, приведенного на рис. 4, б, видно, что с вероятностью $P > 0,8$ обеспечиваются значения площади не менее 522 мм^2 . Таким образом, для той же вероятности изменение подачи гарантированно увеличило фактическую площадь.

При необходимости можно проводить расчеты и для других значений вероятности, характеризующей стабильность процесса накатывания. Например, для вероятности $P = 0,99$ гарантируется получение фактической площади не более 512 мм^2 .

Разработанная методика позволяет проектировать операцию накатывания частично-регулярного микрорельефа с обеспечением заданной фактической его площади.

Список литературы

1. *Бородин А.В.* Несущая способность прессового соединения с криволинейными канавками в стыке / А.В. Бородин, И.А. Рязанцева // Вестник машиностроения. – 2000. – № 5.

2. *Горохов В.А.* Двухуровневая регуляризация микрогеометрических характеристик технических поверхностей и ее обеспечение / В.А. Горохов // Вестник машиностроения. – 1994. – № 5. – С. 29–32.

3. *Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин* / А.М. Сулима, В.А. Шулов, Ю.Д. Ягодкин и др. – М.: Машиностроение, 1988. – 240 с.

4. *Суслов А.Г.* Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. – М.: Машиностроение, 1987. – 208 с.

5. *Шнейдер Ю.Г.* Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. – Л.: Машиностроение, 1982. – 248 с.

Definition of probability of maintenance of the actual area partially-regular microrelief at drawing

I.S. Bukanova, E.Ju.Tatarkin,

The design procedure of the actual area of a partially-regular microrelief and probability of its reception by imitations-stochastic modeling for an estimation of durability of motionless connection of type «the case – the plug» is presented.

Key words: durability, motionless connection, a partially-regular microrelief.