

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКАТЫВАНИЯ ЧАСТИЧНО – РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕГО ФАКТИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДИ

И.С. Буканова, И.И. Ятло

Представлена методика расчета фактической площади частично-регулярного микро- рельефа, позволяющая оценить прочность неподвижного соединения типа «корпус - втулка»

Ключевые слова: Прочность, неподвижное соединение, частично-регулярный микро- рельеф.

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 микро- рельефом контактирующих поверхностей сопряжения и значительно повышается с нанесением на эти поверхности регулярного или частично-регулярного микро-рельефа с последующим дорнованием соединения.

Для регуляризации микро-рельефа охватываемой детали (корпуса) неподвижного соединения в данной работе используется один из способов отделочно-упрочняющей обработки поверхности – пластическое деформирование (ППД) - накатывание. В конструкции накатной головки применяются накатные ролики с деформирующими элементами конусной или пирамидальной формы.

Данный метод позволяет получать частично-регулярный микро-рельеф (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: h – глубина неровностей и S_{ϕ} – фактическая площадь, занимаемая регулярными неровностями, зависят от частоты вращения накатника, механических свойств охватываемой детали и определяются необходимыми значениями показателей прочности соединения.

Задачами исследования являются:

1. Получение диаграмм стохастического моделирования расположения неровностей.

2. Расчет количества неровностей N .

3. Расчет суммарной фактической площади всех неровностей на поверхности отверстия.

Первая неровность располагается в левом верхнем углу развертки (рисунок 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, расположенных 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 .

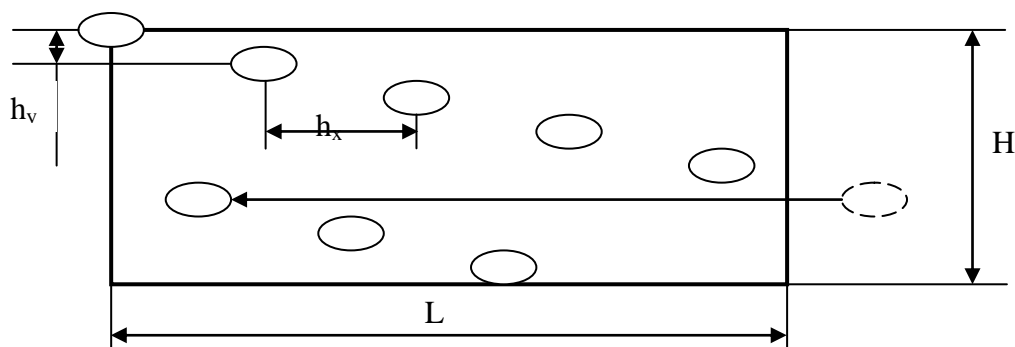


Рисунок 1 - Развертка отверстия на первом проходе

Расчет координат для второго и третьего ролика определяются 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 лунок содержит случайные параметры ε_i , распределение неровностей также будет случайным (рисунок 2).

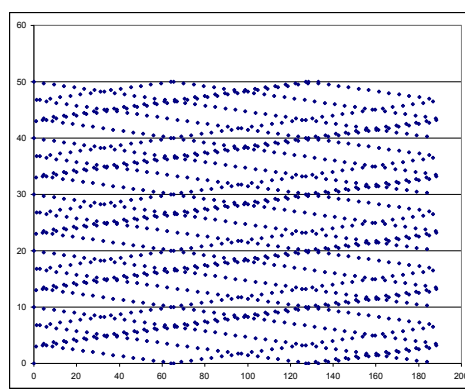
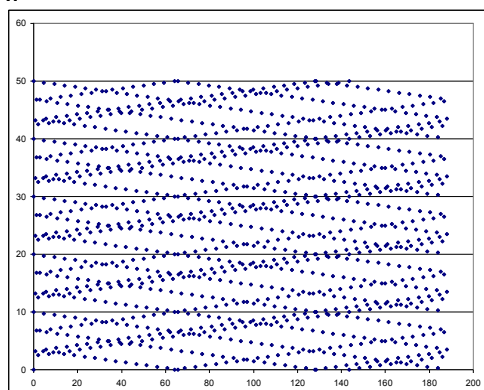


Рисунок 2 - Два варианта результатов стохастического моделирования расположения неровностей

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}) (рисунок 3).

Суммарная фактическая площадь всех неровностей рассчитывается по формуле:

$$S_{\phi} = Nab\pi - S_{\Pi} \quad (5)$$

$$S_{\Pi} = \sum_{i=1}^K S_{i\Pi}$$

Где: N – общее количество неровностей; $S_{i\Pi}$ – площадь i -го пересечения неровностей;

K – количество налагающихся неровностей.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКАТЫВАНИЯ ЧАСТИЧНО – РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕГО ФАКТИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДИ

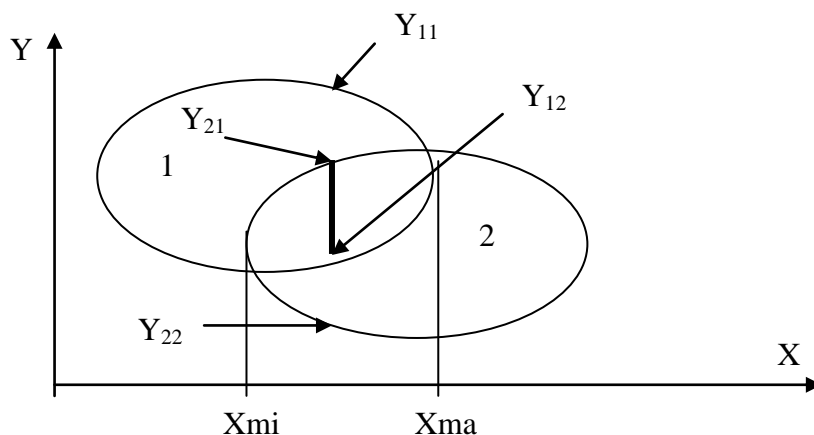


Рисунок 3 - Область интегрирования и координаты пересечения

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 рисунках 4, 5, 6 приведены примеры рассчитанных гистограмм распределений количества пересечений, площади пересечений и суммарной фактической площади соответственно.

Исходными данными для расчета гистограмм являются:

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

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:

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

$$f(S_{II}) = \frac{1}{S_{II}\sigma_{IIZ}\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(\ln S_{II} - \ln S_{II0})^2}{2\sigma_{IIZ}^2}\right)$$

$$f(S_\phi) = \frac{1}{\sigma_\phi\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(S_\phi - S_{\phi0})^2}{2\sigma_\phi^2}\right) \quad (6)$$

Для расчета параметров распределений (K_0 , σ_{KZ} , S_{II0} , σ_{IIZ} , $S_{\phi0}$, σ_ϕ) используется метод наименьших квадратов и надстройка "Поиск

решения" табличного процессора Excel с проверкой качества аппроксимации по критерию χ^2 .

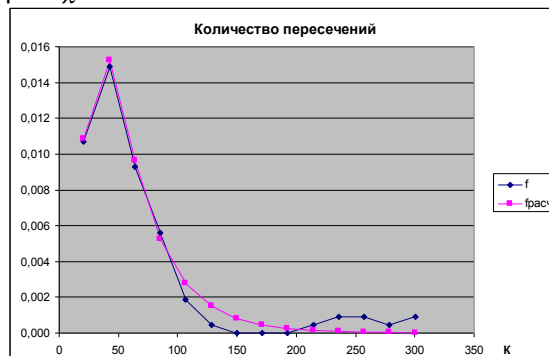


Рисунок 4 - Распределение пересечений

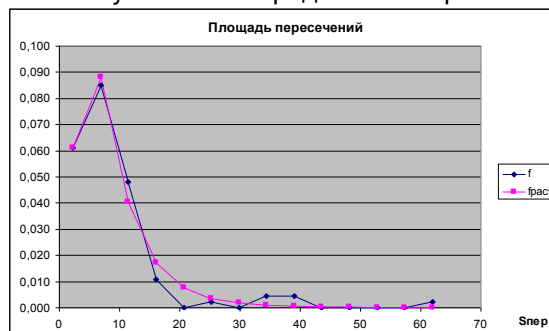


Рисунок 5 - Площадь пересечений



Рисунок 6 – Фактическая площадь

В таблице 1 приведены исходные данные, принятые при проведении стохастического моделирования, а в таблице 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/мин
Количество деформирующих элементов на ролике	k	16
Высота отверстия	H	50 мм
Радиусы эллипсов	a	0,5 мм
	b	0,25 мм

Таблица 2 - Значения параметров распределений

Количество пересечений		Площадь пересечений		Фактическая площадь	
K_0	σ_{KZ}	$S_{\Phi 0}$	$\sigma_{\Phi Z}$	$S_{\Phi 0}$	σ_{Φ}
50,0	0,596	7,06	0,66	467,8	4,4

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-штулка» необходимо не только обеспечить прочность этого соединения, но и гарантировать стабильность обеспечения этой прочности.

В связи со стохастическими параметрами процесса накатывания возможно нарушение прочности 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 1. Чем

больше значение P , тем стабильнее обеспечивается заданная площадь S_{Φ}^* . На рисунке 7 приведен график вероятности обеспечения заданной фактической плотности, полученный для параметров накатывания, указанных в таблицах 1 и 2.

Из данного графика видно, что с вероятностью $P > 0,8$ обеспечиваются значения площади не менее 464 мм². 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 рисунке 8 приведена развертка поверхности для тех же накатников, но при подаче $S = 8$ мм/мин.

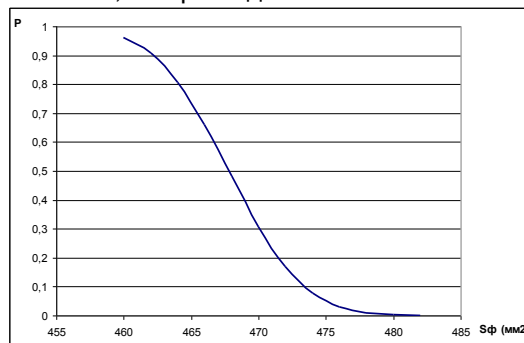


Рисунок 7 – Вероятность обеспечения заданной суммарной фактической площади для исходных данных из таблицы 1

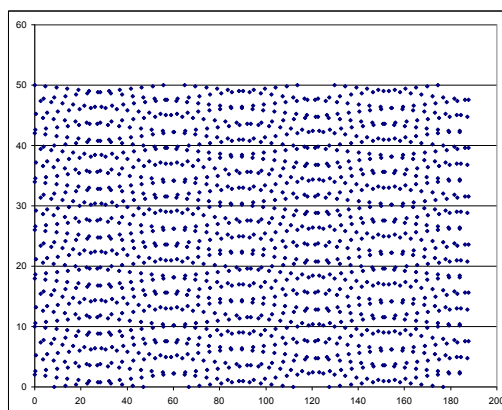


Рисунок 8 – Пример развертки поверхности отверстия при подаче $S=8$ мм/об

На приведенном рисунке видно, что неровности расположены значительно плотнее, чем при подаче $S = 10$ мм/мин (рисунок 2).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКАТЫВАНИЯ ЧАСТИЧНО – РЕГУЛЯРНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕГО ФАКТИЧЕСКОЙ ПЛОЩАДИ

При этом очевидно, что суммарная фактическая площадь неровностей значительно увеличится. Действительно - полученное аналитическое 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 данного графика видно, что с вероятностью $P > 0,8$ обеспечиваются значения площади не менее 522 мм². Таким образом, для той же вероятности изменение подачи гарантированно увеличило фактическую площадь.

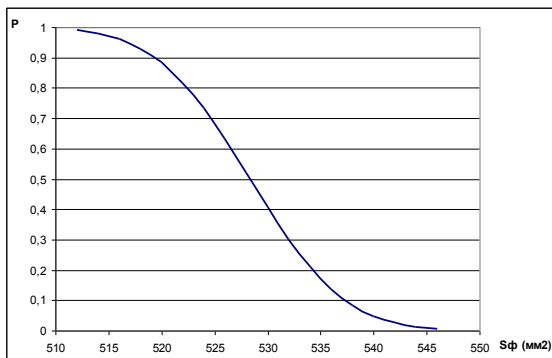


Рисунок 9 - Вероятность обеспечения заданной суммарной фактической площади для подачи $S=8$ мм/об

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 мм².

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородин, А. В. Несущая способность пресового 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 её обеспечение / В.А. Горохов // Вестник машиностроения. – 1994. – №5. – С. 29-32.
3. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин / А.М. Сулима, В.А. Шуллов, Ю.Д. Ягодкин и др. М.: Машиностроение, 1988. 240 с.
4. Повышение несущей способности деталей машин поверхностным упрочнением / Л.А. Хворостухин, С.В. Шишкин, И.П. Ковалев, В.А. Ишмаков. М.: Машиностроение, 1988. 144 с.
5. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. Киев: Наукова думка, 1990. 320 с.
6. Суслов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. М.: Машиностроение, 1987. 208 с.
7. Шнейдер Ю.Г. Эксплуатационные свойства деталей с регулярным микрорельефом. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, 1982. 248 с.
8. Шнейдер, Ю.Г. Прочность неподвижных соединений с регулярным микрорельефом / Ю.Г. Шнейдер, В.А. Забродин // Вестник машиностроения. – 1976. – №6. – С. 42-44.

Буканова И.С., ст. преподаватель кафедры «Общая технология машиностроения»,

Ятло И.И., к.т.н., доцент кафедры «Общая технология машиностроения», тел. +7(3852)29-09-23, E-mail: agtu-otm2010@mail.ru
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»