

УДК 621.787.6: 519.8

В.В. Афаневич

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ИНЕРЦИОННО-ИМПУЛЬСНОГО РАСКАТЫВАНИЯ
ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОТВЕРСТИЙ**

*Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь*

Одной из реализаций метода поверхностно-пластического деформирования деталей является инерционно-импульсная обработка, при которой деформирующие тела (шарики) получают движение, перпендикулярное обрабатываемой поверхности, и наносят по ней удары. Инструмен-

том для осуществления такой обработки является раскатчик, который представлен на рис. 1.

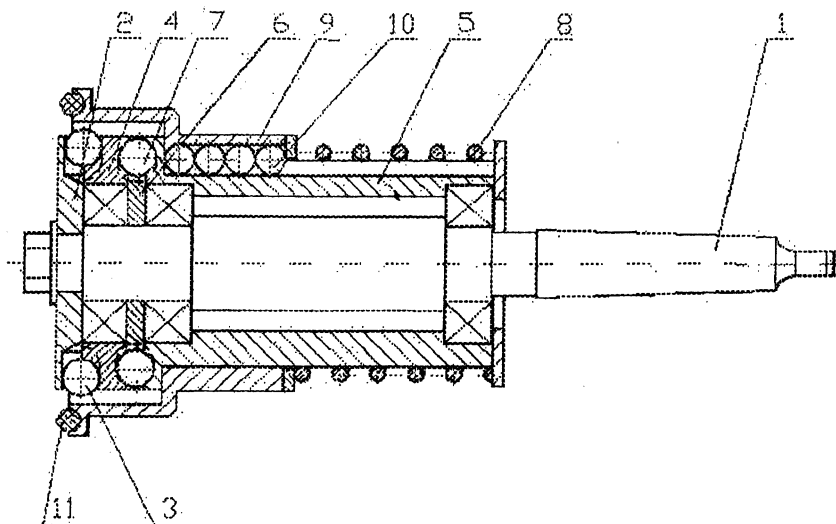


Рис. 1. Инерционно-импульсный шариковый раскатчик

Во время обработки заготовка совершает вращательное движение, а раскатчик совершает движение подачи. За счет этого и обрабатывается внутренняя цилиндрическая поверхность по всему ее периметру. При этом вращение заготовки передается на втулку 9 поводкового устройства посредством торцового поводка 11, а от втулки 9 — ко втулке 5 при помощи подвижной шпонки, выполненной в виде направляющих шариков 10. Втулка 5, являясь ведущим звеном редуцирующего узла, передает вращение ведомому звену 4, выполняющему функции опорного элемента. Этот элемент имеет на своем левом торце замкнутую периодическую канавку. Она выполнена таким образом, что шарики 3, обкатываясь по ней, выступают за ее наружную цилиндрическую поверхность, совершая возвратно-поступательное движение в сепараторе. При этом сепаратор, выполненный в виде набора радиальных пазов, неподвижно закреплен на заторможенной оправке. Поэтому шарики в момент удара находятся в одних и тех же местах относительно оси инструмента. Шарики относительно канавки расположены таким образом, что удары по обрабатываемой поверхности наносятся в шахматном порядке, то есть одновременно всей группой шаров, находящихся в вершинах периодическо-

го профиля. Если пронумеровать шары, начиная с шара, находящегося в этот момент в какой-либо вершине профиля, то этим шарам будут соответствовать нечетные номера. Затем, по мере вращения детали, эти шары опускаются во впадины периодического профиля, а на их место из соответствующих впадин поднимается другая половина шаров (с четными номерами) и наносит удар по поверхности. Далее этот цикл повторяется.

Учитывая описанные принципы работы инструмента, была разработана модель инерционно-импульсной обработки, которая может быть использована для выбора оптимальных режимов раскатывания на основе анализа следов деформирующих элементов на обрабатываемой поверхности. Исходными данными для такой модели являются следующие параметры:

- частота вращения заготовки n_0 (об/мин);
- передаточное отношение редуцирующего узла U ;
- число периодов опорного элемента N_p ;
- подача инструмента на оборот S_o (мм/об);
- диаметр обрабатываемой заготовки D (мм).

Модель учитывает следующие соображения. Частота вращения опорного элемента деформирующих шариков определяется выражением

$$n_1 = \frac{n_0}{U}, \quad (1)$$

где n_0 — частота вращения заготовки; U — передаточное отношение редуцирующего узла.

Определив эту частоту, можно определить также и частоту ударов каждой (четной или нечетной) группы шариков:

$$n_{ш} = n_1 \cdot N_p = \frac{n_0}{U} \cdot N_p, \quad (2)$$

где N_p — число периодов опорного элемента.

Соответственно, период времени, через который группа шариков будет наносить удар по обрабатываемой поверхности, будет равен величине

$$T_{ш} = \frac{1}{n_{ш}} = \frac{U}{N_p \cdot n_0}, \quad (3)$$

Расстояние между центрами следов шариков одноименной группы (например, нечетной) в направлении подачи можно найти по следующей формуле:

$$L_{ш.с} = T_{ш} \cdot S_{ш}, \quad (4)$$

где $S_{ш}$ — минутная подача инструмента.

В свою очередь, расстояние по длине окружности между следами соседних шариков одноименной группы в направлении вращения определяется соотношением

$$\Delta l = \frac{l}{N_p} = \frac{\pi \cdot D}{N_p}, \quad (5)$$

где l и D — длина и диаметр обрабатываемой поверхности.

Расстояние по длине окружности между соседними следами одного и того же шарика в направлении вращения определяется соотношением

$$L_{\text{инт.ф}} = T_{\text{ш}} \cdot \nu = T_{\text{ш}} \cdot n_0 \cdot \pi \cdot D, \quad (6)$$

где $\nu = n_0 \cdot \pi \cdot D$ — линейная скорость точки обрабатываемой поверхности в направлении вращения.

Следы деформирующих элементов на обработанной поверхности строятся на графике в координатах «Длина окружности» — «Длина обработки» на основе уравнений (3)...(6), как показано на схеме (рис. 2). На этом рисунке закрашенными окружностями обозначены следы от нечетных деформирующих элементов, а незакрашенными — от четных. По этой схеме можно найти следующие расстояния, характеризующие расположение следов:

$$AB = \sqrt{S_{\text{м}}^2 \cdot T_{\text{ш}}^2 + T_{\text{ш}}^2 \cdot n_0^2 \cdot \pi^2 \cdot D^2}, \quad (7)$$

$$AD = \frac{\pi \cdot D}{N_p}, \quad (8)$$

$$AH = \sqrt{\left(\frac{S_{\text{м}} \cdot T_{\text{ш}}}{2}\right)^2 + \left(T_{\text{ш}} \cdot n_0 \cdot \pi \cdot D + \frac{\pi \cdot D}{N_p \cdot 2}\right)^2}, \quad (9)$$

$$AI = S_{\text{м}} \cdot T_{\text{ш}}, \quad (10)$$

$$BD = \sqrt{(S_{\text{м}} \cdot T_{\text{ш}})^2 + \left(\frac{\pi \cdot D}{N_p} - T_{\text{ш}} \cdot n_0 \cdot \pi \cdot D\right)^2}, \quad (11)$$

$$BH = \sqrt{\left(\frac{S_{\text{м}} \cdot T_{\text{ш}}}{2}\right)^2 + \left(\frac{\pi \cdot D}{N_p \cdot 2}\right)^2}, \quad (12)$$

$$DH = \sqrt{\left(\frac{S_{\text{м}} \cdot T_{\text{ш}}}{2}\right)^2 + \left(T_{\text{ш}} \cdot n_0 \cdot \pi \cdot D - \frac{\pi \cdot D}{N_p}\right)^2}. \quad (13)$$

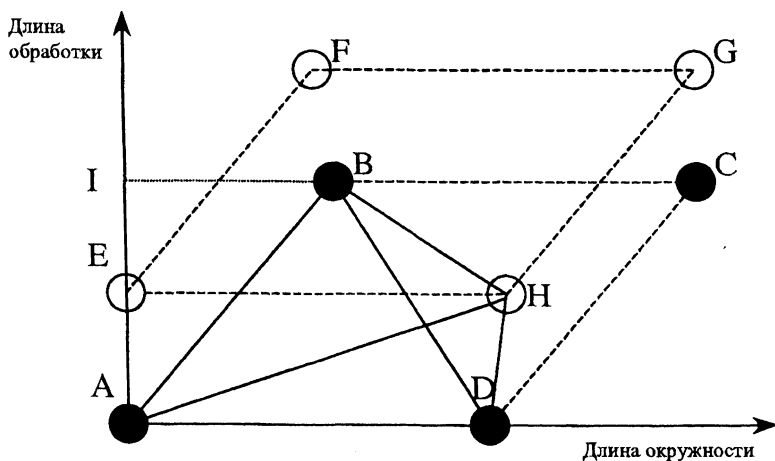


Рис. 2. Схема расположения следов деформирующих элементов

Если эти формулы связать с размером следа от деформирующего элемента, можно получить условия, при которых обеспечивается обработка всей площади поверхности заготовки этими следами.

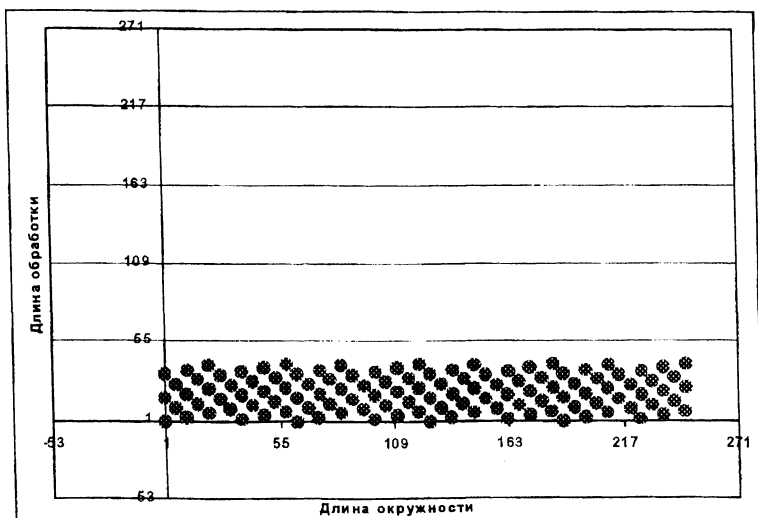


Рис. 3. Развертка обработанной поверхности заготовки

Так, на рис. 3 показаны результаты моделирования для следующих условий:

- частота вращения заготовки $n_0 = 400$ об/мин;
- передаточное отношение редуцирующего узла $U = 2,167$;
- число периодов опорного элемента $N_p = 4$;
- подача инструмента на оборот $S_0 = 5$ мм/об;
- диаметр обрабатываемой заготовки $D = 80$ мм.

Следует заметить, что для данного рисунка подача инструмента на оборот специально существенно завышена. Это сделано для того, чтобы можно было проследить взаимное расположение следов. Для реальных режимов обработки эти следы слились бы в сплошную область.

Из рисунка видно, что за один рабочий ход инструмента невозможно обработать всю поверхность, если только размеры следов деформирующих элементов не будут достаточно велики. В противном случае обработать поверхность можно за несколько рабочих ходов инструмента. Количество этих рабочих ходов может быть определено на основе вероятностного подхода.

Разработанная математическая модель позволяет исследовать влияние конструктивных особенностей инструмента и режимов обработки на геометрическую картину следов деформирующих элементов. Анализ этой картины позволяет разрабатывать оптимальные конструкции инструментов, а также решать задачу оптимизации процесса инерционно-импульсной обработки.