

УДК 621.9.048

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА ВИБРИРУЮЩЕМ ДЕРЖАТЕЛЕ В НЕПОДВИЖНОМ КОНТЕЙНЕРЕ

Стаття присвячена розробці математичної моделі, яка описує процеси, що відбуваються під час обробки деталей на фінішних операціях з використанням віброшпиндельного методу, де шпинделю надається вертикальне переміщення для забезпечення рівномірної обробки деталі по її висоті в нерухомому контейнері, який містить шліфувальний абразив, що знаходиться у вільному стані

Ключові слова: шпиндельна обробка, математична модель, абразивне середовище, сила опору

Статья посвящена разработке математической модели, описывающей процессы, происходящие при обработке деталей на финишных операциях с использованием виброшпиндельного метода, где шпинделю задается вертикальное перемещение для обеспечения равномерной обработки детали по ее высоте в неподвижном контейнере, содержащем шлифовальный абразив, находящийся в свободном состоянии

Ключевые слова: шпиндельная обработка, математическая модель, абразивная среда, сила сопротивления

The article is devoted to the development of mathematical model, which describing the processes, which happenings on finishing operations of detail's treatment, with the use of vibrorabor method, where the vertical moving of spindle is set an arbor for providing the uniform processing on vertical dimension in immobile container, which contains a polishing abrasive, being in the free state

Key words: spindle finishing, mathematical model, abrasive medium, resistance force

Е. В. Бранспиз

Кандидат технических наук, доцент
Кафедра «Легкая и пищевая промышленность»*
Контактный тел.: 8-095-571-15-50

М. А. Калмыков

Кандидат технических наук, докторант
Кафедра «Конструирование станков и машин»
Механико-машиностроительный институт НТУУ «КПИ»
пр. Победы, 37, корп. 1, к. 238А, г. Киев, 03056
Контактный тел.: 8-050-326-28-19

Е. В. Нечай

Аспирант
Кафедра «Технология машиностроения»*
*Восточноукраинский национальный университет им.
В. Даля
кв. Молодежный, 20А, г. Луганск, 91034
Контактный тел.: 8-050-694-73-01
E-mail: elenanechaj@yandex.ru

В современных условиях жесткой конкуренции, каждое изделие в машиностроении, поставляемое на внутренний и внешний рынок, должно обладать высоким уровнем функциональных, экономических и эстетических свойств. Повышение требований к качеству поверхности обусловило развитие и совершенствование технологии финишных методов абразивной обработки.

Перспективными в этом направлении являются методы финишной обработки деталей в среде свободного абразива, так как они позволяют во многих слу-

чаях механизировать обработку деталей со сложными поверхностями и повысить качественные показатели рабочих поверхностей; исключить или свести к минимуму непроизводительный ручной труд. Однако в отечественной промышленности и за рубежом проблемный характер носит финишная обработка тонкостенных, легкодеформируемых деталей с наружными поверхностями, образованными вращением сложной кривой. Эта задача частично была разрешена с помощью применения оборудования для шпиндельной обработки. Несмотря на преимущества шпиндельных

методов обработки сложнопрофильных деталей, существует проблема неравномерного съема металла.

Исходя из вышесказанного следует, что перед каждым технологическим процессом обработки изделия необходимо знать конечный результат используемого процесса для его согласования с последующими процессами съема. Для сокращения сроков разработки новых и усовершенствования прежних процессов механической обработки нужно иметь модельные представления каждого из технологических процессов. Использование полученных данных позволит построить наиболее экономичный процесс обработки различных материалов.

Одним из основных этапов решения поставленной задачи является разработка простых зависимостей, которые позволят оптимизировать процесс шпиндельной обработки деталей в среде свободного абразива.

Исходя из имеющихся в настоящее время соответствующих открытий публикаций, ставится задача получения математической модели для процесса виброабразивной обработки деталей, закреплённых на вибрирующем держателе в неподвижном рабочем контейнере (контейнер заполнен рабочей средой – дисперсным абразивным материалом в сыпучем состоянии). Обрабатываемые детали колеблются вертикально с некоторой амплитудой. Поскольку этот процесс представляет собой абразивную обработку детали при перемещении её в рабочей среде, то основу теоретической модели для описания указанного процесса должна, очевидно, составлять зависимость, определяющая силу сопротивления перемещению некоторого изделия (детали) в сыпучем материале (абразивная рабочая среда). В самом деле, ведь именно воздействие абразивной частицы рабочей среды (сыпучего материала) на поверхность детали (тела) определяет съём материала с этой поверхности (то есть – обработку), и это же воздействие определяет сопротивление сыпучего материала движению тела в нём (согласно современным представлениям о движении тела в сыпучем материале, сопротивление этому движению обуславливается отбором импульса у движущегося тела частицами сыпучей среды).

Определим вид зависимости для сопротивления движению тела в сыпучем материале, соответствующий случаю вертикального проникновения его в этот материал. При этом за основу возьмём:

- согласно [1], сыпучая среда, подвергнутая вибрации (в нашем случае источником вибрации являются вертикальные колебания детали, рис. 1), может быть описана как некоторая «псевдожидкость», что дает возможность использования соответствующих результатов из механики жидкостей;

- сила сопротивления движению тела в сыпучем материале, обусловленная, как уже отмечалось, отбором импульса у движущегося тела частицами сыпучего материала, представляет собой сумму «лобового» сопротивления, вызванного ударами частиц материала о поверхность тела, и «бокового» трения, вызванного трением частиц материала о поверхность тела [2] (отметим, что такое же разделение на составляющие силы сопротивления движения тела в сыпучем материале принято, например, и в магнитной сепарации [3]);

- при вертикальных колебательных перемещениях детали в сыпучем материале впереди этого тела образуется «конус неподвижности», поверхность которого является продолжением боковой поверхности тела.

Примем также то, что в процессе возвратно-поступательного перемещения детали в рассматриваемом случае (рис. 1) основной вклад в сопротивление этим перемещениям вносит трение частиц рабочей среды о боковую поверхность детали (учитываем, конечно, и боковую поверхность «конуса неподвижности», наличие которого приводит к отсутствию ударного воздействия частиц среды на деталь).

Тогда, для силы сопротивления движению детали в рассматриваемом случае можно положить её пропорциональность скорости перемещения: согласно механике жидкой и сыпучей среды, если движение некоторого тела в среде сопровождается лишь трением частиц среды о боковую поверхность тела, то общее сопротивление движению тела в среде определяется первой степенью скорости относительного движения тела.

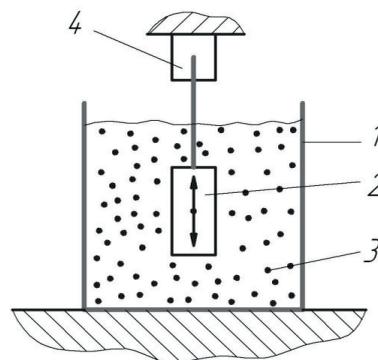


Рис. 1. Схема виброабразивной обработки:
1 – рабочий контейнер; 2 – обрабатываемая деталь (детали); 3 – рабочая среда (сыпучий материал с абразивными свойствами); 4 – вибратор.

Дальнейшей целью является установление зависимости коэффициента пропорциональности между силами сопротивления движению тела в сыпучем материале и скоростью этого движения от геометрических параметров движущегося тела, аналогично тому, как это делается в теории движения тел в жидкости. Для этого учтём, что теоретическое и экспериментальное обоснование возможности использования для потока сыпучей среды возле препятствия аналогии с ламинарным потоком жидкости, которое приведено в [2]. При этом, как и для движения в жидкости, является несущественным, что же конкретно движется – среда или тело. Важно лишь наличие относительного движения частиц сыпучего материала и тела.

Из указанной аналогии следует:

- при движениях некоторого тела в сыпучем материале определённое количество частиц сыпучего материала в зоне близкой к поверхности тела будет приобретать некоторую скорость (импульс), что в конечном итоге и обуславливает определённую силу сопротивления (ведь импульс, приобретённый частицами сыпучего материала, отбрасывается у движущегося тела, потеря же импульса в единицу времени связана с силой противодействия, являющейся в данном случае силой сопротивления движению);

- импульс приобретается частицами сыпучего материала посылно, причём самый быстрый слой прилегает к поверхности тела, а самый медленный – находится на некотором удалении A_0 от поверхности тела,

как это показано на рис. 2 (на удалении, большем чем A_0 , расположена зона неподвижных частиц сыпучего материала, на которые движение тела не оказывает воздействия);

– в зоне подвижных частиц (рис. 2) происходит послонная передача импульса, обусловленная относительным трением в этой зоне слоев из частиц сыпучего материала (т. е. в каждом имеет место касательное напряжение трения – сдвига τ_{TR}).

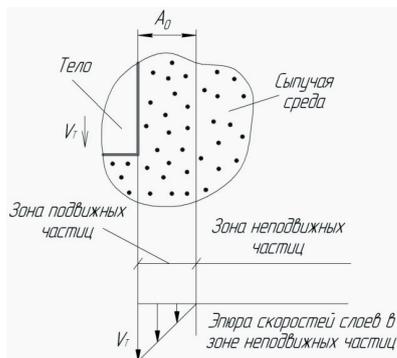


Рис. 2. К выводу зависимости для силы сопротивления движению тела в сыпучей среде

Далее, согласно той же аналогии, примем, что указанный процесс послонной передачи импульса подчиняется ньютоновским законам для процессов передачи [4], а именно – сила, вызвавшая некоторый процесс (в рассматриваемом случае – сила, обусловившая напряжение трения – сдвига), пропорциональна градиенту изменяемой в процессе величины (в рассматриваемом случае такой изменяемой величиной является скорость слоев $V_{сл}$). В этом случае зависимость учитывает то, что этот градиент скорости $V_{сл}$ есть отрицательная производная этой скорости по координате X (градиент направлен в сторону возрастания величины, а координата X направлена в сторону убывания $V_{сл}$, что и приводит к указанной связи градиента скорости $V_{сл}$ и её производной, рис. 2), можно записать в виде

$$\tau_{TR} = -\alpha \cdot \frac{dV_{сл}}{dx}, \tag{1}$$

где α – некоторый коэффициент пропорциональности.

Ввиду очевидной малости толщины зоны подвижных частиц (размер A_0 на рис. 2) будем считать, что скорость $V_{сл}$ изменяется в этой зоне линейно, уменьшаясь от максимального значения для слоя частиц, непосредственно контактирующего с поверхностью тела (это максимальное значение равно скорости тела V_T), до нулевого значения для слоя, находящегося на расстоянии A_0 от поверхности тела (рис. 2), то есть будем считать, что

$$V_{сл} \propto V_T \cdot \left(1 - \frac{X}{A_0}\right), \tag{2}$$

Подстановка (2) в (1) даёт для напряжения трения – сдвига следующую зависимость

$$\tau_{TR} = \alpha \cdot \frac{V_T}{A_0}, \tag{3}$$

из которой, учитывая направление напряжения трения – сдвига по касательной к боковой поверх-

ности тела (её площадь обозначим $S_{БОК}$), несложно получить формулу силы сопротивления движению тела в сыпучем материале (обозначим эту силу F_c) для рассматриваемого случая (случая, когда сила F_c есть сила трения на боковой поверхности тела, определяемая произведением τ_{TR} на $S_{БОК}$); а именно, несложно получить из (3) выражение

$$F_c = \alpha \cdot \frac{S_{БОК}}{A_0} \cdot V_T, \tag{4}$$

Для преобразования выражения (4) учтём, что толщина слоя подвижных частиц (размер A_0 на рис. 2), воспринимающих импульс от перемещающегося в сыпучем материале тела, функционально связано с площадью $S_{БОК}$: в крайнем случае при $S_{БОК} = 0$, очевидно и $A_0 = 0$; с ростом же $S_{БОК}$ растёт и A_0 за счёт увеличения числа частиц, пришедших в движение. Примем, что эта функциональная связь является линейной, то есть

$$A_0 = \beta \cdot S, \tag{5}$$

где β – некоторый коэффициент для линейной аппроксимации реальной зависимости $A_0 = A_0(S_{БОК})$.

Тогда, подставляя (5) в (4), для силы сопротивления движению тела в сыпучем материале можно записать:

$$F_c = \frac{\alpha}{\beta} \cdot V_T.$$

Введем обозначение $\gamma = \alpha / \beta$, тогда

$$F_c = \gamma \cdot V_T, \tag{6}$$

Как следует из (6), её практическое использование для расчёта силы сопротивления движению тела конкретных формы и размеров конкретном сыпучем материале связано с необходимостью определения коэффициента γ , являющегося отношением коэффициентов α и β . Аналитический расчёт указанного отношения требует подробного исследования физики процесса послонной передачи импульса в сыпучем материале при движении тела в нём, что обуславливает соответствующие трудности такого расчёта. Поэтому для инженерной практики можно рекомендовать определение коэффициента γ экспериментально на основе опыта по торможению тела в сыпучем материале при попадании его в этот материал после свободного падения по вертикали с некоторой высоты.

Литература

1. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 1993. – 98 с.
2. Недерман Р., Дэвис С., Хортон Д. Течение гранулированных материалов вокруг препятствий // Механика гранулированных сред: Новое в зарубежной науке. Механика. – 1985, № 36. – с. 229 – 241.
3. Загірняк М.В., Бранспіз Ю.А. Шкiвні магнітні сепаратори: Монографія. – К.: Техніка, 2000. – 303 с.: табл. 39. Іл. 81. Бібліограф. 275 назв.
4. Ландау Л.Д., Ахшезер А.И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. – М.: Наука, 1969. – 400 с.