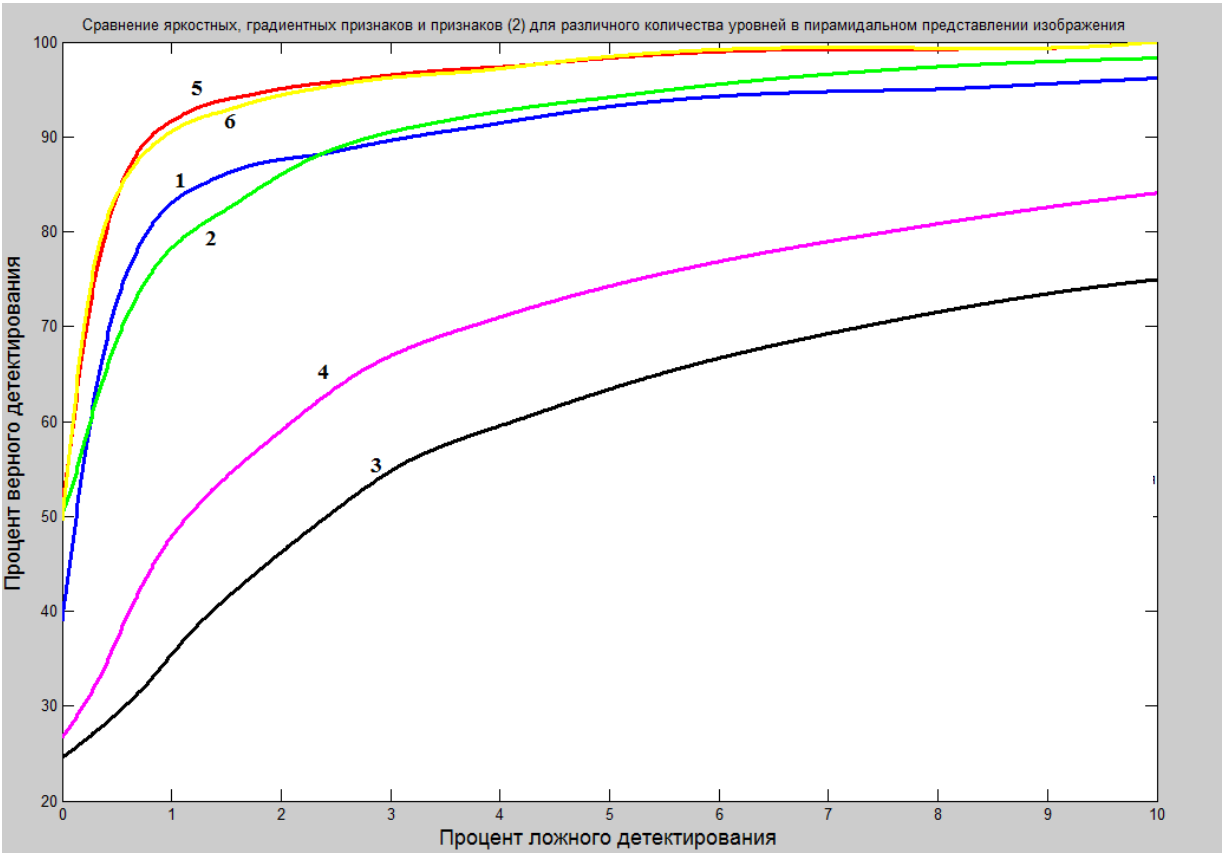


Рис. 3. Сравнительные результаты качества работы алгоритма детектирования лиц в зависимости от выбранных признаков: 1) яркостные признаки; 2) градиентные признаки; 3) признаки (2), полученные из четырехуровневого представления изображения; 4) признаки, полученные из пятиуровневого представления изображения; 5) признаки, полученные из шестиуровневого представления изображения; 6) признаки, полученные из семиуровневого представления изображения

Литература

1. *Бахвалов, Ю.Н.* Метод многомерной интерполяции и аппроксимации и его приложения / Ю.Н. Бахвалов. – М., 2007.

2. Критерий Джини. – URL: www.basegroup.ru/ library/ analysis/tree/math_cart_part1

3. Расположение выборок лиц и шума. – URL: https:// yadi.sk/d/FuWh5XJfd2N7m

4. *Ту, Дж.* Принципы распознавания образов / Дж. Ту, Р. Гонсалес. – М., 1974.

5. *Южаков, Г.* Расширенный набор характеристик Хаара / Г. Южаков // The 22nd International Conference on Computer Graphics and Vision, Russia, Moscow, October 01–05, 2012. – М., 2012.

6. *Viola, P.* Robust Real-Time Face Detection, International Journal of Computer Vision 57(2) / P. Viola, M. Jones. – 2004. – P. 137–154

УДК 621.924

А.П. Сергиев, Д.А. Проскурин, А.В. Макаров

К ВОПРОСУ О ВОЛНОВОЙ ПРИРОДЕ МЕХАНИЗМА СЪЕМА МЕТАЛЛА ПРИ ВИБРОАБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

В статье приведено теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение формирования в сыпучей среде продольных волн сжатия–разряжения, показана возможность оптимизации процесса съема металла при настройке системы на формирование стоячей или бегущей волны.

Виброфиниш, продольная волна, гранулированная среда, зона сжатия и разряжения, бегущая волна, оптимизация.

The article presents the theoretical evidence and experimental confirmation of forming a longitudinal wave of compression-underpressure in granular medium, and shows the possibility of optimization of metal removal when the system setup on the formation of a standing or traveling wave.

Vibro finish, longitudinal wave, area compression and underpressure, traveling wave, optimization.

Производительность обработки в абразивных средах зависит от полезной работы, совершаемой при взаимодействии абразивных гранул, выполняющих роль режущего инструмента, с обрабатываемой поверхностью, которая тесно коррелируется с общей мощностью, поглощаемой сыпучей средой и определяется сравнением потребляемой мощности пустой и загруженной вибрационной машины.

Исследование характера распространения колебаний сыпучей среды внутри ограниченного стенками контейнера показало, что частицы выстраиваются в цепочки, а частота столкновений между частицами внутри среды может значительно отличаться от частоты колебаний контейнера в зависимости от уровня вибровозбуждения, что неоднократно наблюдалось нами при анализе движения частиц, зафиксированного скоростной видеосъемкой [2] и исследовалось в работе [1].

В средах с большой концентрацией абразивных частиц (гранул) при низком уровне вибровозбуждения $A\omega^2 < g$ происходит уплотнение частиц и создается структурированная система, соответствующая плотной упаковке материала и обладающая квазиупругими свойствами.

В открытых контейнерах при вибровозбуждении $A\omega^2 > g$ прохождение ударного импульса сопровождается увеличением объема загрузки, т.е. разрыхлением среды, и скачкообразным ростом сдвигового течения материала, объясняемого дилатансией, впервые наблюдавшейся Рейнольдсом. С ростом вибровозбуждения возрастает степень разрыхления, что приводит к постепенному уменьшению контактных взаимодействий в сильно разрыхленной среде, вплоть до образования виброкипящего слоя, т.е. реологическое состояние сыпучей среды может существенно меняться от величины и соотношения целого ряда факторов, важнейшими из которых являются частота и амплитуда колебаний при постоянстве компонентов гранулированной среды.

При передаче энергии от стенок контейнера к частицам среды происходит колебание этих частиц около своих положений равновесия, вследствие чего колебательное движение начинает распространяться в среде от частицы к частице с некоторой скоростью v, т.е. образуется продольная волна.

Для того чтобы пройти путь от плоскости контакта со стенкой $x = 0$ до плоскости, соответствующей произвольному значению x, волне требуется время $\tau = \frac{x}{v}$. Из предположения, что колебания носят гармонический характер, уравнение волны будет определяться следующим выражением:

$$\xi(x,t) = A\cos\omega(t-\tau) = A\cos\omega\left(t-\frac{x}{v}\right), \qquad (1)$$

где A – амплитуда колебаний, ω – круговая частота.

Упруго деформированная среда, возвращаясь в недеформированное состояние после контакта со стенкой рабочей камеры, способна совершить работу, т.е. обладает запасом энергии. Поскольку эта энергия обусловлена взаимным расположением частиц среды, она представляет собой потенциальную энергию упругой деформации объема ΔV:

$$\Delta\Pi = \frac{\rho v^2}{2}\left(\frac{\partial\xi}{\partial x}\right)\Delta V, \qquad (2)$$

где ρ – плотность среды, v – фазовая скорость волны.

Рассматриваемый объем будет также обладать кинетической энергией:

$$\Delta T = \frac{\rho}{2}\left(\frac{\partial\xi}{\partial t}\right)^2 \Delta V. \qquad (3)$$

Выражения (2) и (3) в сумме дают полную энергию:

$$\Delta E = \Delta\Pi + \Delta T = \frac{1}{2}\rho\left[\left(\frac{\partial\xi}{\partial t}\right)^2 + v^2\left(\frac{\partial\xi}{\partial x}\right)^2\right]\Delta V. \qquad (4)$$

Тогда плотность энергии:

$$u = \frac{1}{2}\rho\left[\left(\frac{\partial\xi}{\partial t}\right)^2 + v^2\left(\frac{\partial\xi}{\partial x}\right)^2\right]. \qquad (5)$$

Продифференцировав уравнение плоской волны (1) по t и x и подставив в (5), получим:

$$u = \rho A^2\omega^2\sin^2\omega\left(t-\frac{x}{v}\right) = \rho A^2\omega^2\sin^2(\omega t - kx). \qquad (6)$$

Как следует из (6), плотность энергии в каждый момент времени в разных точках пространства различна и изменяется по закону квадрата синуса. Тогда среднее значение плотности энергии в каждой точке среды будет равно:

$$\bar{u} = \frac{1}{2}\rho A^2\omega^2. \qquad (7)$$

Плотность энергии (6) и ее среднее значение (7) пропорциональны плотности среды ρ, квадрату частоты ω и квадрату амплитуды волны A.

Следовательно, среда, в которой возникает волна, обладает дополнительным запасом энергии, которая доставляется от источника колебаний в различные точки среды самой волной.

Значения энергии в разных точках пространства характеризуется вектором плотности потока энергии, а именно: вектором Умова. Его среднее значение равно:

$$\mathbf{j}_{\text{ср}} = \overline{uv} = \frac{1}{2}\rho A^2\omega^2 v\,.$$

Зная ***j*** в любой точке произвольной поверхности *S*, можно вычислить поток энергии через эту поверхность и установить связь между плотностью потока энергии в различных точках поверхности и потоком энергии через эту поверхность, т.е. спрогнозировать интенсивность и равномерность обработки всех элементов поверхности изделия.

На основании экспериментального исследования [2] на рис. 1 а представлена структура распространения фронта волны по сечению контейнера и результирующий вектор волны, распространяющийся от точки взаимодействия поверхности контейнера через гранулированную среду.

На рис. 1 б и в зафиксированы зоны сжатия и разрыхления. Необходимо отметить, что зона разрыхления, уходящая в открытое пространство (верх контейнера), значительно протяженнее, чем в случае распространения волны от стенки к стенке через центр масс среды, специально отмеченной серией индикаторов, жестко прикрепленных к наружной стенке контейнера. Последнее обстоятельство является основополагающим в оптимизации интенсивности процесса.

Логично предположить, что по мере возрастания подводимой энергии колебаний, т.е. увеличения величины вектора Умова, зона сжатия (уплотнения) будет увеличиваться, а зона разрыхления уменьшаться и, несмотря на увеличение единичных актов микрорезания, общая интенсивность процесса будет замедляться. При дальнейшем увеличении частоты колебаний в системе появится возможность появления кратной частоты продольной волны, где будут возникать две зоны сжатия и две зоны разряжения.

При определенном сочетании геометрических параметров рабочей камеры и упруго-вязких характеристик среды может установиться стоячая волна. Наблюдаемое явление особенно ярко наблюдается в тороидальных контейнерах, где волны не отражаются от противоположных стенок, а циркулируют по окружности, что наглядно подтверждается кривыми на рис. 2, полученными в ходе экспериментальных исследований, проводимых на вибромашине, реализующей пространственные маятниковые колебания [3]. На кривой 1 наблюдается рост интенсивности процесса по мере формирования продольной волны, затем наступает резкий спад интенсивности в связи с разрушением структуры волны, т.е. ростом зоны сжатия и уменьшением зоны разрыхления. При дальнейшем росте значения $A^2\omega^2$ формируются условия появления двух полных волн по периметру камеры, и происходит резкое возрастание интенсивности процесса, которое может продолжаться до образования стоячей или бегущей волны.

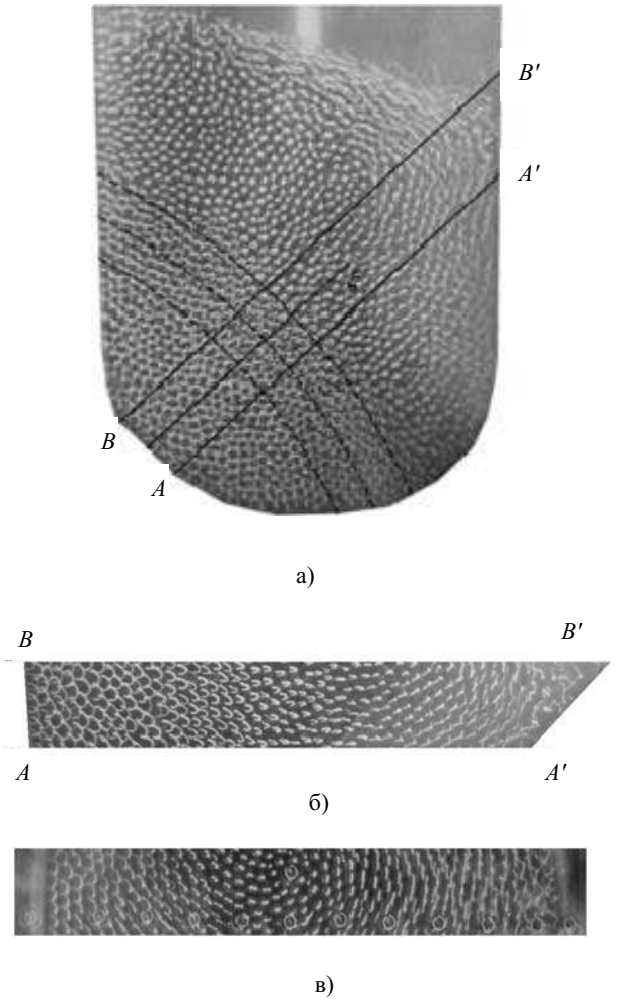


Рис. 1. Распространение фронта волны в контейнере:

а – структура распространения фронта волны по сечению контейнера и результирующий вектор волны ζ; б – зона разрыхления, уходящая в открытое пространство; в – зона разрыхления в случае распространения волны от стенки к стенке

Как показано в аналитической части исследования, съем металла может осуществляться только в зоне разрыхления, где существуют условия для перемещения абразивных гранул относительно обрабатываемых поверхностей.

Аналогичные зависимости получены при варьировании сочетания жидкой фазы и гранулированных частиц, но общая тенденция формирования (чередования) фаз сжатия и разряжения и наличия экстремальных режимов чередования максимумов и резкого спада производительности сохраняется во всех экспериментах.

Аналитические и экспериментальные исследования показали, что математическая модель, обеспечивающая максимальную интенсивность съема металла при виброфинишной обработке, будет определяться зависимостью:

$$M_{opt} = f\left(A^2\omega^2\right), \text{ при } \omega \to \omega_{opt} .$$

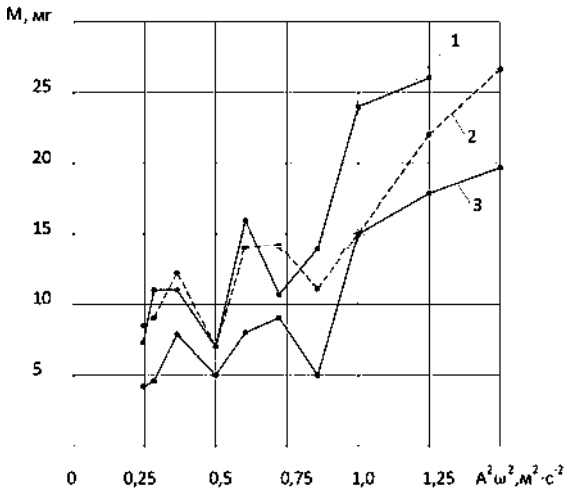


Рис. 2. Съем металла за 20 мин. обработки с образцов из стали 45 размерами 15×15×0,8 мм в зависимости от критерия $A^2\omega^2$ при различном соотношении объемов жидкой фазы $V_ж$ и гранулированных частиц $V_{абр}$:
1 – $V_{абр}$ = 2000 см^3, $V_ж$ = 500 см^3;
2 – $V_{абр}$ = 2000 см^3, $V_ж$ = 1500 см^3;
3 – $V_{абр}$ = 3000 см^3, $V_ж$ = 1500 см^3

Таким образом, интенсивность процесса обработки зависит от количества энергии, передаваемой от стенок контейнера частицам среды посредством образующейся продольной волны, которую можно оптимизировать за счет подбора частоты колебаний при фиксированных значениях амплитуд. Форма и объем контейнера, а также соотношение жидкой и гранулированной фаз играют достаточно высокую роль и влияют на значение постоянного коэффициента, определяющего тангенс угла наклона кривой. Использование современных частотных преобразователей переменного тока для трехфазных асинхронных двигателей (Преобразователь частоты Русэлком RVL) позволит провести настройку вибрационной установки в кратчайшее время и установить необходимый уровень частоты, после чего оптимальный режим может быть зафиксирован и отражен в технологическом процессе обработки деталей. Это позволит максимально сократить временные затраты при получении высоких качественных характеристик поверхности и поверхностного слоя детали.

Литература

1. *Кремер, Е.Б.* Одномерная динамическая континуальная модель сыпучей среды / Е.Б. Кремер, А.Я. Фиулин. // ДАН СССР. – 1989. – Т. 309. – № 4.

2. *Сергиев, А.П.* Особенности движения массы загрузки в различных зонах рабочего контейнера вибромашины / А.П. Сергиев, В.А. Анпилогов // Вестник машиностроения. – М., 1989. – № 3. – С. 83–100.

3. *Сергиев, А.П.* Особенности отделочно-зачистной обработки в свободных абразивных средах методом пространственных маятниковых колебаний / [А.П. Сергиев и др.] // Вестник машиностроения. – М., 2001. – № 1. – С. 51–52.

4. *Сергиев, А.П.* Поиск эффективных решений при обработке в центробежно-планетарных устройствах / [А.П. Сергиев и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – Орел, 2014. – № 2 (304). – С. 105–109.

УДК 519.63

Н.Н. Синицын, Н.В. Телин, И.О. Белодонова, К.А. Шушкова

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕССА В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССАХ

Работа выполнена в рамках государственного научного гранта Вологодской области (договор № 27 от 25.08.2014)

В статье представлена математическая модель расчета нестационарного температурного поля двухслойной стенки при несимметричных граничных условиях третьего рода, изменяющейся во времени температуре окружающей среды. Представлены результаты расчета температурных полей при резком изменении граничных условий.

Нестационарное температурное поле, двухслойная стенка, тестирование алгоритма расчета.

The article presents a mathematical model of calculation of non-stationary temperature field of a double-layer wall with asymmetric boundary conditions of the third kind, time-varying ambient temperature. The authors presented the results of calculation of temperature fields when boundary conditions suddenly change.

Non-stationary temperature field, double-layered wall, testing the calculation algorithm.

Для большинства современных зданий (административных зданий, школ, жилых зданий, театров, кинотеатров, ряда производственных зданий и т.д.) допускается понижение температуры внутреннего воздуха ниже нормативного значения в течение части суток, в выходные и праздничные дни с целью