ЛИТЕЙНОЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.744.362

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-7-254-81-83

Е. Ю. Карпова, Н. И. Габельченко, Н. Н. Бобович, Д. Р. Катинев

КИНЕТИКА ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УДАРНОГО НАГРУЖЕНИЯ ФОРМОВОЧНОЙ СМЕСИ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: mitlp@vstu.ru

В настоящей работе представлен материал, позволяющий количественно оценить зависимость основных характеристик динамического нагружения формовочной смеси, а значит, и степень ее уплотнения, от параметров встряхивающего механизма формовочной машины (массы соударения частей и их жесткости).

Ключевые слова: уплотнение формовочной смеси, ударное нагружение, динамическое воздействие на смесь.

E. Y. Karnova, N. I. Gabelchenko, N. N. Bobovich, D. R. Katinev

KINETICS OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF IMPACT LOADING OF THE MOLDING MIXTURE

Volgograd State Technical University

This paper presents a material that allows us to quantify the dependence of the main characteristics of the dynamic loading of the molding mixture, and hence the degree of its compaction, on the parameters of the shaking mechanism of the molding machine (the mass of the collision of parts and their rigidity).

Keywords: compaction of the molding mixture, impact loading, dynamic impact on the mixture.

Формовочная смесь, как связко-сыпучее физическое тело, обладает всеми основными реологическими свойствами (вязкостью, пластичностью и упругостью), степень проявления каждого из которых зависит от характера его нагружения.

Принято считать [1], что при статическом нагружении формовочная смесь, деформируясь, ведет себя как пластическое тело, и только в конце деформации проявляется упругость. Это объясняется тем, что в процессе нагружения в любой момент степень ее деформации строго соответствует величине внешней нагрузки.

При ударных нагрузках формовочной смеси определяющим, с точки зрения деформации, становятся ее вязкие свойства [2]. Поэтому результат внешнего динамического воздействия на смесь, то есть величина развивающихся в смеси напряжений, время их действия, опре-

деляется характером удара соударяющихся частей формовочной машины.

Следовательно, для анализа процесса уплотнения формовочной смеси в замкнутом объеме динамическими циклическими нагрузками представляет интерес рассмотрение кинетики динамических характеристик удара во встряхивающем механизме формовочной машины.

Схематизируя и упрощая задачу до замены соударяющихся тел формовочной машины (рисунком ниже, поз. а) идеальными телами с точечной массой m_1 и m_2 и упругим элементом c_2 (поз. б), рассмотрим удар тела m_1 , падающего с высоты h , с телом m_2 .

Жесткость тела m_2 принимаем c_2 , а тело m_1 для упрощения примем абсолютно жестким ($c_1 = \infty$). Тогда после соприкосновения тел m_2 с m_1 в момент удара оба они будут перемещаться совместно, их общая масса будет $(m_1 + m_2)$, а общая жесткость — c_2 .

Схема деформирования двух тел при соударении (а, б) и диаграммы деформаций соударяющихся тел (в)

Уравнение совместного движения системы $(m_1 + m_2)$ можно записать в следующем виде:

$$-c_2x - (m_1 + m_2)\frac{d^2x}{dt^2} = 0, \quad (1)$$

где $(-c_2x)$ – реакция опоры; $(m_1 + m_2)\frac{d^2x}{dt^2}$ – инерционная сила тела $(m_1 + m_2)$; t – время; x – перемещение тела $(m_1 + m_2)$.

Это уравнение может быть представлено в виде

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega x = 0, \quad (2)$$

где $\omega = \sqrt{\frac{c_2}{m_1 + m_2}}$ – круговая частота собственных колебаний тела $(m_1 + m_2)$.

Последнее уравнение есть линейное дифференциальное уравнение второго порядка с постоянными коэффициентами без правой части и минимальными комплексными корнями. Общее решение данного уравнения имеет вид [3]

$$x = A\cos(\omega t) + B\sin(\omega t). \quad (3)$$

Продифференцировав это решение получим уравнение скорости:

$$v = -A\omega\sin(\omega t) + B\omega\cos(\omega t) \quad (4)$$

Для нахождения постоянных A и B подставим в уравнение (3) первое условие: $t = 0$; $x = 0$, а в уравнение (4) – второе начальное условие:

$$v = v_{нач} = v_0 \frac{m_1}{m_1 + m_2}, \quad (5)$$

где v_0 – скорость тела m_1 в момент соприкосновения с телом m_2 ; $v_{нач}$ – начальная скорость совместного движения тел в данный момент времени.

Получим: $A = 0$,

$$B = \frac{v_0}{\omega} \cdot \frac{m_1}{m_1 + m_2} = \frac{v_{нач}}{\omega}.$$

Таким образом, для текущих значений пути и скорости получаем уравнение свободных колебаний системы $(m_1 + m_2)$:

$$x = \frac{v_{нач}}{\omega} \sin(\omega t) = \frac{v_0}{\omega} \cdot \frac{m_1}{m_1 + m_2} \sin(\omega t), \quad (6)$$

$$v = v_{нач} \cos(\omega t) = \frac{v_0}{\omega} \cdot \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cos(\omega t). \quad (7)$$

Предельное время всей деформации до останковки системы (t_{np}), то есть продолжительность нагружения, найдем, допустив $v = 0$ в уравнении (7):

$$\omega t = \arccos \frac{0}{v_{нач}} = \frac{\pi}{2},$$

что даст $t_{np} = \pi/2\omega$. (8)

Предельная деформация (x_{np}) тела m_2 будет:

$$x_{np} = \frac{v_{нач}}{\omega} \sin(\omega t_{np}) = \frac{v_{нач}}{\omega}. \quad (9)$$

Подставив в уравнение (8) и (9) значения ω и $\omega_{нач}$, получим:

$$t_{np} = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{c_2}}, \quad (10)$$

$$x_{np} = v_0 m_1 \sqrt{\frac{1}{c_2 (m_1 + m_2)}}. \quad (11)$$

Текущее значение ускорения (j) движения системы составит

$$j = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv}{dt} = -\omega v_{нач} \sin(\omega t). \quad (12)$$

Текущее значение силы давления системы на опору:

$$F = (m_1 + m_2)(-j) = \omega m_1 v_0 \sin(\omega t). \quad (13)$$

В момент окончания деформации предельное отрицательное ускорение составит

$$j_{np} = j_{max} = -\omega v_{нач} \sin \frac{\pi}{2} = -\sqrt{\frac{c_2}{m_1 + m_2}} \cdot v \frac{m_1}{m_1 + m_2}. \quad (14)$$

Наибольшее значение силы при этом будет:

$$F_{max} = (m_1 + m_2)(-j) = v_0 m_1 \sqrt{\frac{c_2}{m_1 + m_2}}. \quad (15)$$

Таким образом, представленный материал позволяет количественно оценить зависимость основных характеристик динамического нагружения формовочной смеси, а значит, и степень ее уплотнения, от параметров встряхивающего механизма формовочной машины (массы соударения частей и их жесткости). Изменяя эти параметры, можно в значительной мере менять характер и степень силового динамического воздействия на формовочную смесь. Так, например, если уменьшить жесткость воспринимающего удар тела в два раза, то круговая частота собственных колебаний системы будет составлять

$$\omega' = \frac{\omega}{\sqrt{2}},$$

и в связи с этим предельное время соударения $t'_{np} = \sqrt{2} t_{np} = 1,41 t_{np}$;

максимальное ускорение

$$x'_{np} = \sqrt{2} x_{np} = 1,41 x_{np};$$

максимальное ускорение

$$j'_{max} = \frac{j}{\sqrt{2}} = 0,71 j_{max};$$

предельное значение силы

$$F'_{np} = \frac{F_{np}}{\sqrt{2}} = 0,71 F_{max}$$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Орлов, Г. М. Напряженное состояние литейной формы при прессовании / Г. М. Орлов // Литейное производство. – 1971. – № 4. – С. 31–35.
2. Карпов, Ю. И. Напряженно-деформированное состояние формовочных смесей при динамическом нагружении / Ю. И. Карпов // Литейное производство. – 2001. – № 10. – С. 11.
3. Тимошенко, С. П. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко. – М.: Наука, 1967. – 230 с.