

УДК 621.001.57

С.А. Жовтобрух

ГБУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Красноармейск
кафедра горной электротехники и автоматики им. Р.М. Лейбова
e-mail: sergey_zh@ukr.net

АНАЛИЗ СКОРОСТНЫХ РЕЖИМОВ ПРЕССА СМ1085

Рассмотрены технологические показатели, влияющие на качество сформованного огнеупорного изделия. Определены динамические характеристики прессового оборудования. Получены диапазоны регулирования скорости пресса. Получены динамические характеристики пресса СМ1085, с учетом угла поворота коленчатого вала и скорости пуансона.

Ключевые слова: скорость, пресс, огнеупор, изделие, усилие, формование.

Общая постановка проблемы. Работа металлургических предприятий неразрывно связана с производством огнеупоров, которые используются в виде готовых изделий (кирпич, фасонные и крупноблочные изделия) и неформованных материалов (мертелей, пластичных масс и жидких смесей). На качество огнеупорных изделий оказывают влияние параметры формуемой массы, технические характеристики электромеханического оборудования пресса. Анализ способов достижения качества сформованного и готового огнеупорного кирпича [1, 2] позволяет сделать вывод о принципиальной возможности задания требуемого уровня качества изделия на этапе его формования с использованием соответствующих алгоритмов управления приводом пресса. Учитывая, что корректировка параметров привода пресса в процессе формования производится оператором вручную, задача повышения качества формуемого изделия представляется актуальной.

Постановка задач исследования. Целью работы является определение факторов, определяющих показатели качества формуемого огнеупорного изделия и формирование корректирующих управляющих воздействий на электромеханическое оборудование пресса. Для достижения цели поставлены и решены следующие задачи:

- определить параметры огнеупорной массы, влияющие на качество изделия в момент формования и последующего обжига;
- оценить динамические характеристики пресса на стадии формования огнеупора.

Результаты разработки и исследований. Основным параметром контроля прессования огнеупорных изделий на прессах типа СМ1085 является зависимость между кажущейся плотностью сырца γ_k и удельным давлением прессования P .

Кажущаяся плотность сырца γ_k зависит от следующих параметров [2]:

$$\gamma_k = f(D_{OM}, W_{OM}, H, \varepsilon_6, P, V_{np}, t_{np}) \quad (1)$$

где D_{OM} – показатель зернистости ингредиентов огнеупорной массы, мм; W_{OM} – влажность огнеупорной массы, %; H – уровень засыпки пресс-формы, мм; ε_6 – упругое расширение сырца в свободном состоянии, мм; P – удельное давление прессования, МПа; V_{np} – скорость прессования, мм/с; t_{np} – время прессования, с.

При условии постоянства технологических показателей огнеупорной массы (влажность, насыпная плотность, зернистость), зависимость (1) примет вид:

$$\gamma_k = f(P, V_{np}, t_{np}). \quad (2)$$

Кажущаяся плотность сырка γ_k зависит не только от давления прессования, а также от времени выдержки при максимальном давлении и от скорости нарастания давления прессования. Стабилизация давления прессования P производится вручную изменением глубины засыпки огнеупорной массы по показаниям амперметра. Скорость прессования V_{np} определяется кинематикой прессующего механизма и может регулироваться изменением частоты вращения вала кривошипа пресса. Обратной пропорционально частоте вращения вала изменяется длительность цикла t_{np} . Для повышения качества изделия следует увеличить скорость прессования на начальных стадиях, а на конечной ограничивать. Эти требования обеспечиваются конструкцией коленно-рычажного пресса СМ1085, который обеспечивает в конце каждого рабочего цикла наибольшее усилие и наименьшую скорость прессования. Значение скорости прессования лимитируется сечением зазора между пуансонами и стенками пресс-формы и размерами сырка [4, 6, 7, 10].

Величина перемещения пуансона пресса s , как функция от угла поворота кривошипа α , описывается выражением [3]:

$$s_1(\alpha) = 2 \cdot l - \frac{(L+r)^2 + l^2 - L^2 + k_1(\alpha) \cdot \sqrt{4 \cdot (k_1(\alpha)^2 + k_2(\alpha)^2)} \cdot l^2 - (L+r)^2 + L^2}{k_1(\alpha)^2 + k_2(\alpha)^2}, \quad (3)$$

где r, l, L – конструктивные параметры коленно-рычажного механизма, мм [4, 9],

$$k_1(\alpha) = 1.5 + r \cdot \cos\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right); \quad k_2(\alpha) = \left(1 - r \cdot \sin\left(\alpha \cdot \frac{\pi}{180}\right)\right).$$

Скорость пуансона описывается выражением (мм/с):

$$V(\alpha) = \frac{d}{dt} \left(1.3 - \frac{4.24 - 0.48 \sin \alpha + 1.85 \sqrt{\cos \alpha} - 1.51 \sqrt{\sin \alpha} + 0.53 \cos \alpha + 0.37 \cos \alpha \sqrt{\cos \alpha} - 0.3 \cos \alpha \sqrt{\sin \alpha}}{3.34 + 0.9 \cos \alpha - 0.6 \sin \alpha} \right); \quad (4)$$

$$\beta = \arcsin(\lambda \cdot \sin \alpha);$$

Время прессования (перемещения пуансона) и соответствующий этому времени угол поворота кривошипа, а также время рабочего цикла определяются по следующим выражениям соответственно [5, 6, 8]:

$$t_{np} = \frac{l_k}{V_{np}}, \quad [c]; \quad (5)$$

$$\alpha_p = \frac{360 \cdot l_k}{V_{np} \cdot t_u} = \frac{6 \cdot l_k \cdot n}{V_{np}}; \quad (6)$$

$$t_u = \frac{60}{n} = \frac{l_k \cdot V \cdot h_0}{20.29 \cdot \zeta \cdot 2L}, \quad [c], \quad (7)$$

где n – число оборотов коленчатого вала, об/мин; $l_k = h_0 - h$ – ход прессования, равный разнице между максимальной высотой засыпки пресс-формы и толщиной сырка, мм.

По выражениям (3-7) получены кривые изменения перемещения, скорости и ускорения пуансона пресса СМ1085 в зависимости от угла α поворота кривошипа, которые приведены на рисунке 1.

Основное уравнение динамики электромеханического комплекса пресса СМ1085 можно представить в виде:

$$J(\alpha) \frac{d\omega_2}{dt} + \frac{1}{2} \frac{dJ(\alpha)}{d\alpha} \omega_2^2 = M_{эмс} - M_c(\alpha);$$

$$J(\alpha) = \left[J_{эмс} + \frac{J_3}{i_2^2} + \left(J_4 + \frac{mV(\alpha)^2}{\omega_4^2} \right) \frac{1}{i_2^2 i_3^2} \right] \cdot \left[1 + k_j \frac{\sin^2(\alpha + \beta)}{\cos^2(\beta)} \right], \quad (8)$$

где $J(\alpha)$ – момент инерции, приведенный к валу двигателя, кг/м²; $M_{дв}$, $M_{эмс}$, $M_c(\alpha)$ – электромагнитные моменты двигателя, муфты скольжения и статический момент сопротивления, приведенный к валу муфты, Нм; ω_2 – угловая скорость двигателя, с⁻¹; k_j – коэффициент, учитывающий амплитуду гармонической составляющей момента инерции кривошипно-коленного механизма ($k_j = 0,3$); β – угол между рычагом и его плоскостью перемещения, град [5, 8].

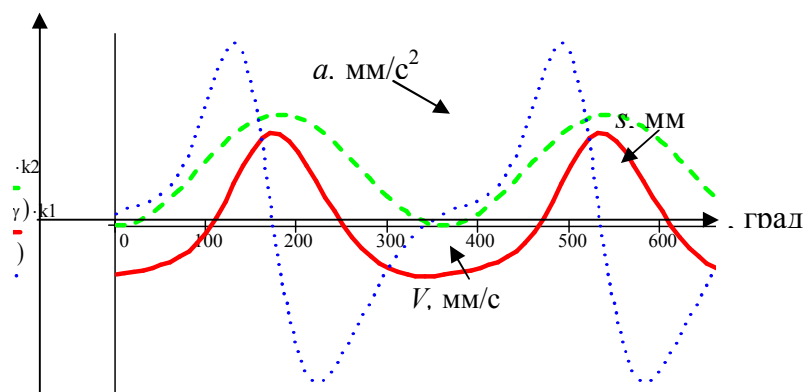


Рисунок 1 – Кривые перемещений s , скоростей V и ускорений a пуансона прессы СМ1085 в диапазоне изменения угла поворота кривошипа

Электромагнитный момент муфты скольжения описывается выражением:

$$M_{эмс} = M_{max} \arctg^2(aI) \left(\frac{1 - \frac{\omega_2}{\omega_{c2}}}{1 - b \frac{\omega_2}{\omega_{c2}}} \right), \quad [\text{Н}\cdot\text{м}], \quad (9)$$

где M_{max} – момент инерции маховика, Н·м; I – ток возбуждения муфты, А; ω_{c2} – синхронная скорость вращения вала муфты, с⁻¹; a , b – конструктивные параметры электромагнитной муфты скольжения ($a = 0,5$; $b = 0,9$) [4].

Статический момент сопротивления, приведенный к валу муфты определяется из выражения:

$$M_c(\alpha) = \frac{Fr \sin(\alpha + \beta)}{i_2 i_3 \cos \beta}, \quad [\text{Н}\cdot\text{м}], \quad (10)$$

где i_i – передаточные коэффициенты звеньев механической части прессы; F – усилие формования огнеупора, МПа; r – приведенный радиус, м.

Структурная схема механической части коленно-рычажного прессы СМ1085 (см. рис. 2) позволяет проанализировать поведение системы в динамических режимах в соответствии с (8-10). На рисунке 2 приняты следующие обозначения: M – динамический момент приводного асинхронного двигателя прессы; M_c – момент сопротивления пуансона прессы; $БД$, $БУ$ – математические блоки; $f1(\alpha)$ – блок вычисления угла β ; $f2(\alpha, \beta)$ – блок вычисления переменной составляющей момента инерции пуансона; $f3(\alpha, \beta)$ – блок вычисления производной мо-

мента инерции пуансона; $f_4(\alpha, \beta)$ – блок вычисления переменной составляющей момента сопротивления пуансона, приведенного к валу муфты.

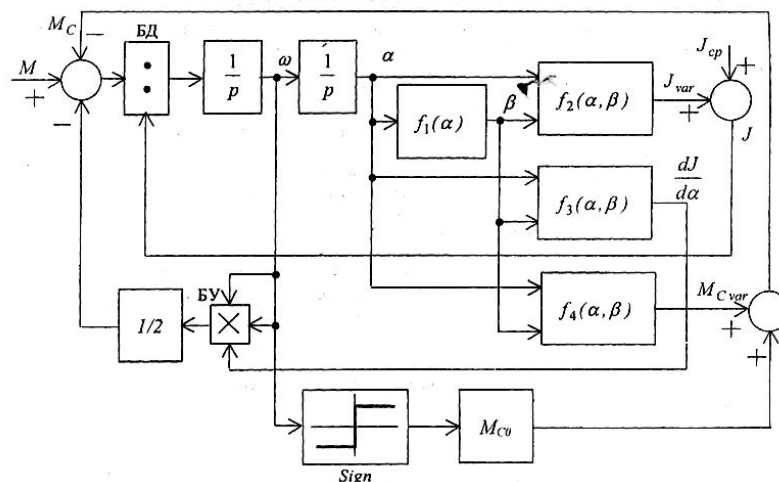


Рисунок 2 – Структурная схема механической части коленно-рычажного пресса SM1085

На основании уравнений (2-10) получены динамические характеристики коленно-рычажного пресса SM1085 при запуске его привода (см. рис. 3).

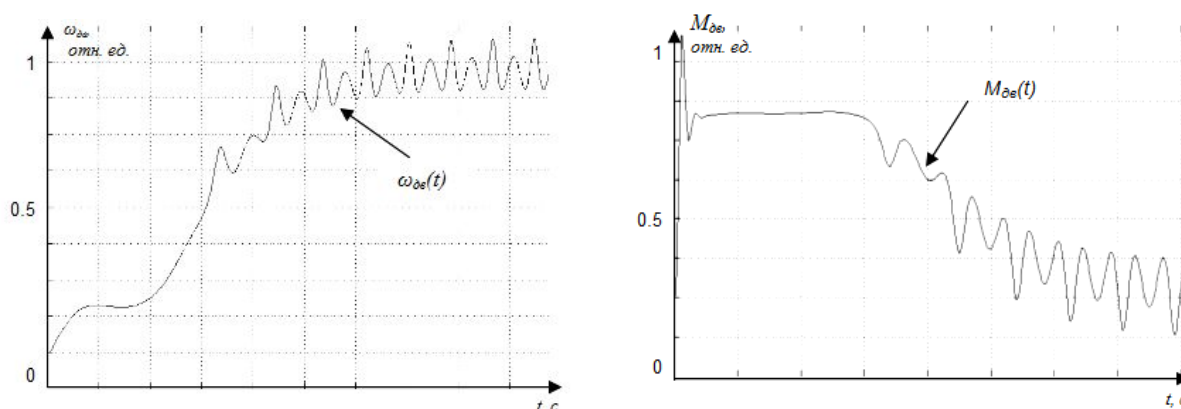


Рисунок 3 – Переходные процессы изменения скорости пуансона и момента приводного двигателя пресса SM1085 при пуске

Выводы.

1. Установлено, что режим прессования характеризуется следующими факторами: удельным давлением на огнеупорную массу, средней скоростью прессования, распределением скорости по времени внутри рабочего цикла, ступенчатостью прессования, выдержкой сырца под давлением, повторностью приложения давления. Для повышения качества огнеупорного изделия следует увеличить скорость прессования на начальных стадиях формования огнеупорной массы с последующим ее ограничением.

2. Проведено моделирование динамического режима работы пресса SM1085. Получены графики переходных процессов изменения скорости пуансона и момента приводного двигателя пресса при пуске. Момент сопротивления зависит от влажности, зернистости, насыпной плотности огнеупорной массы и угла поворота вала кривошипа. Колебательные явления в электро-механической части пресса SM1085 в процессе формования огнеупора обусловлены упругими свойствами огнеупорной массы.

Список использованной литературы

1. Стрелов К.К. Технический контроль производства огнеупоров: [учебник для техникумов] / К.К. Стрелов, А.Д. Кашеев. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.:Металлургия, 1986. – 240 с.
2. Жовтобрух С.А. Анализ технологических показателей качества при производстве шамотного огнеупора полусухим формованием / С.А. Жовтобрух, Г.В. Серезентинов // Сборник научных трудов 3-й Международной научно-технической конференции аспирантов и студентов «Автоматизация технологических объектов и процессов. Поиск молодых». – Донецк: ДонНТУ, 2003. – С. 118-122.
3. Жовтобрух С.А. Анализ динамических процессов в электромеханическом комплексе пресса СМ1085 при формовании огнеупора / С.А. Жовтобрух, К.Н. Маренич // Труды Луганского отделения Международной Академии информатизации. – Луганск, 2009. – №18. – С. 28 – 33.
4. Кузнечно-штамповочное оборудование // Под ред. Банкетова А.Н. – М.: Машиностроение, 1970. – 602 с.
5. Серезентинов Г.В. Моделирование одномассовой электромеханической системы коленно-рычажного пресса / Г.В. Серезентинов, С.А. Жовтобрух / Збірник наукових праць IV Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та студентів «Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих».– Донецьк: ДонНТУ, 2004. – С. 427 – 431.
6. Власов А.В. Учет сжимаемости при формоизменении порошковых материалов / А.В. Власов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1999. – №2. – С. 12 – 15.
7. Верниковский В.Е. Математическая модель прессования двухфазных порошков / В.Е. Верниковский // Огнеупоры и техническая керамика. – 1996. – №11. – С. 24 – 28.
8. Савельев Н.М. О выборе скоростей прессования огнеупоров / Н.М. Савельев, В.П. Узберг, М.С. Пилипенко, Е.Ф. Соломонов // Огнеупоры. – 1965. – №5. – С. 23 – 27.
9. Байсоголов В.Г. Механическое и транспортное оборудование заводов огнеупорной промышленности / В.Г. Байсоголов. – М.: Metallurgy, 1981. – 296 с.
10. Попильский Р.Я. Прессование порошковых керамических масс / Р.Я. Попильский, Ю.Е. Пивинский. – М.: Metallurgy, 1983. – 176 с.

References

1. Strelov, K.K. and Kashheev A.D. (1986), *Tekhnicheskij kontrol' proizvodstva ogneuporov. Uchebnik dlja tehnikumov* [Technical control of production of refractories. Textbook for technical schools], 3d ed., Metallurgy, Moscow, Russia.
2. Zhovtobrukh, S.A. and Serezentynov G.V. (2003), “Analysis of technological parameters of quality in the manufacture of fireclay refractories semi-dry forming”, *Sbornik nauchnyh trudov 3-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii aspirantov i studentov “Avtomatizacija tehnologicheskikh ob'ektov i processov. Poisk molodyh”*, Donetsk, Ukraine, pp. 118 – 122.
3. Zhovtobrukh, S.A. and Marenich K.N. (2009), “Analysis of dynamic processes in complex Electromechanical press SM1085 for forming refractory”, *Trudy Luganskogo otdelenija Mezhdunarodnoj Akademii informatizacii*, no. 18., pp. 28 – 33.
4. Beketova, A.N. (1970), *Kuznechno-shtampovocnoe oborudovanie* [Forging and stamping equipment], Mashinostroenie, Moscow, Russia.
5. Serezentynov, G.V. and Zhovtobrukh S.A. (2004), “Modeling of single-mass Electromechanical system of the knee-lever press”, *Zbirnyk naukovykh prac' IV Mizhnarodnoi' nauково-tehnichnoi' konferencii' aspirantiv ta studentiv «Avtomatyzacija tehnologichnyh ob'ektiv ta procesiv. Poshuk molodyh»*, Donetsk, Ukraine, pp. 427 – 431.
6. Vlasov, A.B. (1999), “Accounting for compressibility when forming powder materials”, *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo*, no. 2. pp. 12 – 15.
7. Vernikovskiy, V.E. (1996), “Mathematical model of two-phase pressing powders”, *Ogneupory*

- i tehničkaja keramika*, no. 11., pp. 24 – 28.
8. Savelyev N.M., Osberg V.P., Pilipenko M.S., and Solomon E.F. (1965), “On the choice of pressing speeds of refractories”, *Ogneupory*, no. 5, pp. 23 – 27.
 9. Baisogalov, V.G. (1981), *Mehanicheskoe i transportnoe oborudovanie zavodov ogneupornoj promyshlennosti* [Mechanical and transportation equipment factories refractory industry], Metallurgy, Moscow, Russia.
 10. Popelskiy, R.J. and Piwinskiy J.E. (1983), *Pressovanie poroshkovyh keramicheskikh mass* [Pressing ceramic powder mass], Metallurgy, Moscow, Russia.

Поступила в редакцію:
30.03.2015

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. А.А. Зори

С.А. Жовтобрух

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Аналіз швидкісних режимів преса СМ1085. Розглянуто технологічні показники, що впливають на якість формування вогнетривких виробів. Визначені динамічні характеристики пресового устаткування. Отримані діапазони регулювання швидкості преса. Отримані динамічні характеристики преса СМ1085 з урахуванням кута повороту колінчастого валу та швидкості пуансона.

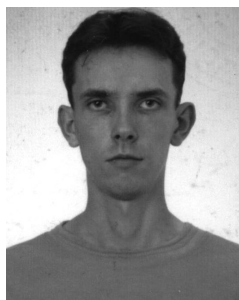
Ключові слова: швидкість, прес, вогнетрив, виріб, зусилля, формування.

S.A. Zhovtobrukh

Donetsk National Technical University

Analysis of speed modes of the press CM1085. Technological factors influencing the quality of formation of refractory products are considered. The dynamic characteristics of pressure equipment are provided. The ranges of speed regulation of the press are obtained. The obtained dynamic characteristics of the press CM1085 are obtained taking into account the crank angle and speed of the punch. It is established that the compression mode is characterized by the following factors: the specific pressure on the refractory mass, the average speed of extrusion, the velocity distribution within the operating cycle aliasing pressing, the shutter speed raw under pressure, the repeated application of pressure. To improve the quality of refractory products we should increase the pressing speed in the initial stages of forming a refractory mass with subsequent restriction. The curves of transient changes in the speed of the punch and of the drive motor are obtained when pressing start. The moment of resistance depends on the moisture content, grain size, bulk density of the refractory mass and the rotation angle of the crank shaft.

Keywords: speed, press, the refractory product of the efforts of formation.



Жовтобрух Сергей Анатольевич, Украина, окончил Донецкий национальный технический университет, старший преподаватель кафедры горной электротехники и автоматики им. Р.М. Лейбова. ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (пл. Шибанкова, 2, г. Красноармейск, 85300, Украина). Основное направление научной деятельности – разработка, моделирование и исследование объектов и систем автоматизации технологических процессов горно-металлургической отрасли.