

ВЫДЕЛЕНИЕ ТЕПЛА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ БРИКЕТИРОВАНИИ СТРУЖКИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДАРА

Долгополова В.В., Чечета И.А. (ВГТУ, г. Воронеж, Россия)

The variant calculation of a temperature by impulses briquetting shaving on the high-speed hammer adjusted for set power porosity, and efficiency blow are discussed. In order to get the most out of the impulses briquetting shaving the method of calculation is presented.

Брикетирование стружки, образующейся при обработке металлов резанием, достаточно широко применяется в машиностроении с целью утилизации отходов. При этом сам процесс брикетирования реализуют как на тихоходных гидравлических прессах, так и на машинах ударного действия, обеспечивающих более плотные брикеты. Ударное (импульсное) брикетирование отличается более высокой эффективностью. Поэтому все научно-технические разработки, направленные на дальнейшее совершенствование брикетирования, представляются актуальными, а целью разработки является повышение эффективности использования энергии, вводимой в технологическую систему брикетирования.

Количественная оценка выделяющегося тепла (эмиссия) под действием удара, прикладываемого к сплошному пластиически деформируемому телу, постоянно привлекает внимание исследователей [1, 2 и др.], поскольку всегда преследуется цель, направленная на выбор рационального количества энергии, вводимой в технологическую систему. Однако при анализе импульсного брикетирования стружки выделение тепла, предопределенное ударом, обычно не учитывают. По мнению авторов, это вносит существенную погрешность при выборе количества энергии, вводимой в технологическую систему брикетирования.

Особенностью импульсного брикетирования стружки, образующейся в процессе обработки деталей резанием, является то, что сыпучий материал в виде стружки в простейшем случае помещают в цилиндрический контейнер и там подвергают стружку ударному сжатию. Поэтому в процессе удара по конкретному объему стружки рост степени деформации получаемого брикета предопределен исключительно за счет уменьшения его пористости. Тогда с учетом гипотезы [3] о численном равенстве степени пластической деформации и степени пористости получаемого брикета представляется возможным применительно к поведению сыпучего тела скорректировать математическую зависимость [4], характерную для деформирования ударом сплошных тел, имеющую вид:

$$e_{y\delta} = \sigma \varepsilon \quad (1)$$

и устанавливающую связь между удельной энергией $e_{y\delta}$, возникающей в деформируемом теле напряжением σ и степенью пластической деформации ε .

После коррекции, уравнение для вычисления удельной энергии $e_{y\delta \cdot cm}$ стружки получает вид:

$$e_{y\delta \cdot cm} = \mu \cdot \sigma \cdot \varepsilon, \quad (2)$$

где μ – степень пористости получаемого брикета, если считать, что у сплошного материала $\mu = 1,0; 0 < \mu < 1,0$.

Тогда корректировку получает и уравнение теплопроводности для одноосной схемы силового нагружения, характерного для динамических испытаний методом осадки цилиндрических образцов, приведением его к виду:

$$pC_v dT / dt = -A\mu\sigma v / h, \quad (3)$$

С учетом того, что в каждый момент времени мгновенная скорость $v = dh / dt$, уравнение (3) получает вид:

$$dT = \left(-A\mu\sigma / \rho C_v \right) \times \left(dh / h \right) \quad (4)$$

В уравнениях приняты следующие обозначения:

ρ – плотность обрабатываемого материала;

C_v – коэффициент удельной теплоемкости;

T – температура, изменяющаяся под воздействием удара;

t – текущее время;

$A = 1/427$ – термический эквивалент работы;

μ – степень пористости получаемого брикета;

σ – напряжение в деформируемом теле;

v – мгновенная скорость соударяющихся масс;

h – текущая высота брикета.

Интегрирование уравнения (4) в пределах от T_0 до T и от h_0 до h приводит к уравнению для вычисления температуры T , возникающей в брикете в зависимости от начальной температуры T_0 и степени деформации брикета при конкретной степени его пористости μ :

$$T = T_0 + \left[A\mu\sigma \times \ln\left(\frac{h_0}{h}\right) \right] / \rho C_v. \quad (5)$$

Так как $\ln\left(\frac{h_0}{h}\right) = \epsilon$ – степень деформации, то уравнение (5) получает вид:

$$T = T_0 + A \cdot e_{y\partial.cm} / \rho \cdot C_v \quad (6)$$

В рассматриваемом случае напряжение σ является величиной, характерной для ударного деформирования сплошного материала. Для пористого материала введен коэффициент μ [3]. При этом численное значение напряжения σ находят в результате испытаний сплошного материала на удар методом свободной осадки цилиндрических образцов при скорости v_0 удара, соответствующей брикетированию. Скорость v_0 поддается измерению при помощи блок-схемы, показанной на рисунке:

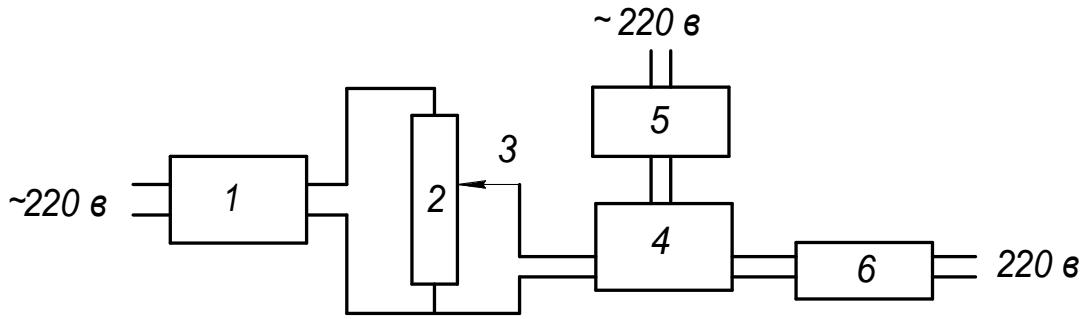


Рис.1. Блок – схема измерительной системы:

- 1 – выпрямитель типа ВС – 25; 2 – реостат типа СП5 – 14;
- 3 – скользящий контакт;
- 4 – осциллограф типа Н – 115;
- 5 – блок питания типа П133;
- 6 – генератор звуковых частот типа ГЗ-34.

В свою очередь, предварительно формируют условия, которые предопределяют выбор скорости v_0 .

Здесь имеют в виду, что мгновенная скорость энергетически активных масс в их исходном положении равна нулю. Затем по мере преобразования работы расширения газа вытекающего из энергетического привода в кинетическую энергию удара мгновенная скорость энергетически активных масс возрастает, и достигает своего максимального значения. Этот момент соответствует оптимальной величине δ степени расширения газа [5].

Представление об оптимальной величине степени расширения газа представляется возможным получить на основе анализа преобразования работы расширения сжатого газа в кинетическую энергию брикетирующего инструмента. При этом имеется в виду, что при заданном внутреннем объеме привода степень расширения газа предопределяет диаметр расширительного цилиндра и величину рабочего хода, то есть влияет на размер рабочей зоны машины.

Так как индикаторная работа L цикла энергетического привода представляется уравнением:

$$\frac{L}{V_e} = 9,6 \left(1 - \frac{1}{\delta} \right) \left[\frac{\lambda \cdot P_c}{(\delta - 1) \cdot (k - 1)} \cdot \left(1 - \frac{1}{\delta^{k-1}} \right) - 1 \right], \quad (7)$$

то оптимальную величину δ_{opt} представляется возможным найти, приравняв нулю первую производную $L' = 0$ уравнения (7),
где V_e - внутренний объем привода.

Тогда

$$\delta_{opt} = \left(\frac{\kappa \cdot \frac{\lambda \cdot P_c}{\kappa - 1}}{\frac{\lambda \cdot P_c}{\kappa - 1} - 1} \right)^{\frac{1}{\kappa - 1}}, \quad (8)$$

где κ – показатель адиабаты;

λ – степень повышения давления после сгорания заряда горючей газовой смеси;

P_c – начальное давление горючей газовой смеси.

Без учета давления атмосферы, противодействующего движению энергетически активных масс, уравнение (7) получает вид:

$$\delta_{onm} = \kappa^{\frac{1}{\kappa-1}} \quad (9)$$

В случае сжигания топливного заряда, состоящего из смеси пропан-бутана с воздухом, $\kappa = 1,25$, соответственно $\delta_{onm} = 2,441$.

Так как дальнейшее увеличение степени расширения газа не сопровождается приростом кинетической энергии, то в качестве начальной скорости v_0 удара по брикетируемой стружке представляется необходимым брать то значение скорости, которое соответствует величине δ_{onm} .

В свою очередь, практика показала, что стружка, засыпанная в полость матрицы, не оказывает существенного противодействия удару на начальном пути пуансона, вошедшего в контакт со стружкой. Величина этого пути в зависимости от типа стружки составляет 30 - 40 % от общей начальной высоты засыпанной стружки. Это является основанием для рационального взаимного расположения матрицы и пуансона с учетом найденной величины степени расширения δ_{onm} .

Существенным показателем импульсного брикетирования является коэффициент полезного действия удара.

При импульсном брикетировании стружки допустимо считать, что энергия, которой располагают энергетически активные массы в момент подлета инструмента к объекту обработки, расходуется на деформирование стружки (E_δ) и на восстановление кинетической энергии в связи с упругой разгрузкой силовой системы брикетировочной машины [6]. В этом случае баланс энергии представляется в виде:

$$0,5M \cdot v_0^2 = E_\delta + 0,5M \cdot v_n^2, \quad (10)$$

где v_n – скорость подскока инструмента после соударения.

Процесс удара разделен на два этапа:

- активный этап, когда скорость удара изменяется от v_0 до нуля;

- пассивный этап, при котором в связи с упругой разгрузкой силовой системы скорость подскока пуансона изменяется от нуля до v_n .

Анализ этапа пассивного удара показывает [5], что связь между скоростью v_0 и v_n имеет вид:

$$v_n = v_0 \sqrt{\frac{\varepsilon_s}{2 \cdot \varepsilon_m}}, \quad (11)$$

где ε_s – максимальная степень упругой деформации стяжных шпилек брикетировочной машины;

ε_m - степень пластической деформации брикета.

Таким образом, КПД удара составляет:

$$\eta = \frac{E_\delta}{0,5 \cdot M \cdot v_0^2} = 1 - \left(\frac{v_n}{v_0} \right)^2 = \frac{\varepsilon_s}{2\varepsilon_m}. \quad (12)$$

Поскольку

$$\varepsilon_s = \frac{\mu \cdot \sigma}{E}, \quad (13)$$

где E - модуль упругости материала стяжных шпилек, то

$$\eta = 1 - \frac{\mu \cdot \sigma_s}{\varepsilon_m \cdot E}. \quad (14)$$

Анализ результатов показывает, что величина КПД удара совпадает с аналогичными величинами, полученными другими исследователями на основании измерения скорости v_n подскока посредством высокоскоростной камеры [6].

Вывод. На основании измеренной скорости v_0 , известной величины массы M , заданной степени пористости и намечаемого объема брикета есть возможность получить представление о требуемом количестве вводимой энергии для брикетирования с учетом максимальной величины температуры, возникающей к концу удара, а также оценить степень эффективности удара

Список литературы: 1. Кононенко В.Г. Высокоскоростное формоизменение и разрушение металлов. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. Ун-те, 1980. – 232 с. 2. Чечета И.А. Выделение тепла при пластической деформации под действием удара. // Системные проблемы надежности, качества, математического моделирования, информац. электрон. технологий в инн. проектах. Материалы междунар. конф. и Российской научн. школы. Ч.2, т. 2. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – С. 26-27. 3. Чечета И.А., Долгополова В.В. Энергосиловые показатели импульсного брикетирования стружки // Ж. Инженер, 2007. № 8, Донецк (Украина), ДонНТУ. С. 83-86. 4. Чечета И.А., Бородкин В.В., Сай В.А. Энергосиловые параметры штамповки на высокоскоростных молотах // Кузнечно- штамповочное производство, № 3, 1996. – С. 11-14. 5. Чечета И.А., Сай В.А. Уточнение ряда технологических параметров высокоскоростной обработки металлов давлением на основе элементов теории упругопластического удара. – Воронеж: Изд – во ВПИ, 1981. – 43 с. 6. Согришин Ю.П., Гришин Л.Г., Воробьев В.М. Штамповка на высокоскоростных молотах. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с.

Сдано в редакцию 26.01.2009