

ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СОУДАРЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ КЛЕПКЕ

Чистяк В.Г., канд. техн. наук

(г. Харьков, Украина)

The assumptions are represented, the method and settlement circuit of a research of process of impact of a pressing and support through deformable by them for want of impulse method of formation of junction is ustified. Are obtained of theoretical dependence of process.

Как установлено исследованиями /1/, на качество заклепочных соединений, выполненных импульсным способом, определяющее влияние оказывают особенности механизма образования соединения (кинематика процесса). В этой связи представляет интерес установление общих зависимостей, отражающих перемещения элементов ударной системы, протекающие во времени.

Процесс импульсной клепки в общем случае представляет соударение трех тел: бойка, обжимки и поддержки /1/. Будем считать соударяющиеся тела жесткими стержнями, а деформируемую заклепку – податливым элементом, лишенным массы. Так как площадь поперечного сечения стержня заклепки значительно меньше площади поперечных сечений деформирующих ее тел, а прочностные свойства материала последних существенно выше, то предположение об абсолютной жесткости соударяющихся тел можно считать справедливым. Пренебрежение массой заклепки также можно считать вполне допустимым, так как она неизмеримо меньше масс обжимки и поддержки.

Предположим, что к моменту достижения плотного контакта заклепки с обжимкой и поддержкой произойдет полная передача энергии бойка обжимке, которые из соображений максимума КПД передачи энергии выполняются из условия равенства их масс. Приведенное предположение, подтверждаемое экспериментально /2/, позволяет считать, что процесс клепки осуществляется обжимкой самостоятельно без влияния бойка.

Пренебрегаем влиянием в процессе удара внешних сил воздействия давления и веса энергоносителя, сил трения и других сил. На первом этапе не учитываем также влияние на процесс клепки жесткости пакета соединяемых деталей.

Предположим, что при клепке имеет место центральный удар обжимки и поддержки, то есть линия действия векторов их сил совпадает с осью стержня заклепки, и проходит через центры масс указанных тел.

Обычно полагают, что для практических задач волновыми явлениями, сопровождающими ударные процессы и существенно усложняющими их математическое описание, можно пренебречь, если соблюдается критерий применимости методов классической теории удара /3–5/

$$\frac{t_d}{T} > 3 \quad (1)$$

Ориентировочно оценивая длительность клепки $t_d \approx 20 \cdot 10^{-5} \text{ с}$ (по средним значениям величин осадки и скорости деформирования), определив наибольший период собственных колебаний T соударяющихся тел, исходя из отношения фактической длины поддержки l_n и скорости распространения волн α (для инструментальных сталей $\alpha = 5,1 \cdot 10^3 \text{ м/с}$)

$$T = 2l_n / \alpha \approx 3,9 \cdot 10^{-5} \text{ с}, \quad (2)$$

находим

$$\frac{t_d}{T} = \frac{20 \cdot 10^{-5} \text{ с}}{3,9 \cdot 10^{-5} \text{ с}} > 3. \quad (3)$$

Это дает возможность при исследованиях представить процесс импульсной клепки упрощенной расчетной схемой классической механики соударения двух жестких тел (рис.) с учетом силовых зависимостей деформируемого ими промежуточного элемента (заклепки).

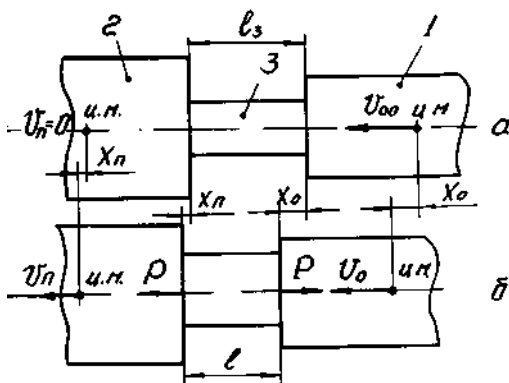


Рис. Расчетная схема импульсной клепки.

На рис.,а показан момент, соответствующий приобретению обжимкой требуемой начальной скорости V_{00} после соударения ее с бойком и наличия плотного контакта обжимки 1 и поддержки 2 с заклепкой 3. Считаем, что к этому моменту поддержка сохраняет состояние покоя, а заклепка – исходную длину l_3 . Соударяющиеся обжимка и поддержка имеют массы m_o и m_n , соответственно. Допущение о несжимаемости обжимки и поддержки дает основание считать перемещение их рабочих поверхностей X_o и X_n равными перемещениям центров масс.

Обозначив текущую длину заклепки во время ее деформирования l , согласно рис.,б запишем

$$l_3 = X_o + l - X_n, \quad (4)$$

откуда деформация заклепки

$$\alpha = l_3 - l = X_o - X_n. \quad (5)$$

Вследствие инерционного сопротивления поддержки массой m_n на поверхностях контакта заклепки 3 с обжимкой 1 и поддержкой 2 возникает сила ударного взаимодействия P , деформирующая заклепку и зависящая от величины ее деформации

$$P = f(\alpha). \quad (6)$$

Приняв за положительное направление скорости обжимки V_{oo} , запишем дифференциальные уравнения движения соударяющихся тел

$$\begin{aligned} m_0 \frac{d^2 x_0}{dt^2} &= -P = -f(\alpha) \\ m_n \frac{d^2 x_n}{dt^2} &= P = f(\alpha). \end{aligned} \quad (7)$$

Интегрируя выражения (7) при принятых начальных условиях $t=0, V_o=0, V_n=0$, получим

$$\begin{aligned} m_0 \int_{V_{00}}^{V_0} dV_0 &= -\int_0^t P dt, m_0(V_0 - V_{00}) = -\int_0^t P dt, \\ m_n \int_0^{V_n} dV_n &= \int_0^t P dt, m_n V_n = \int_0^t P dt, \end{aligned} \quad (8)$$

где V_o и V_n – текущие скорости обжимки и поддержки.

Приравнявая левые части (8), запишем аналитическое выражение закона сохранения количества движения для ударной системы

$$m_0 V_{00} = m_0 V_0 + m_n V_n. \quad (9)$$

Из этого выражения

$$V_0 = \frac{dX_0}{dt} = V_{00} - \frac{m_n}{m_0} * \frac{dX_n}{dt}. \quad (10)$$

Дифференцируем выражение (5) по времени

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{dX_0}{dt} - \frac{dX_n}{dt}, \quad (11)$$

откуда

$$\frac{dX_n}{dt} = \frac{dX_0}{dt} - \frac{d\alpha}{dt}, \quad (12)$$

а с учетом значения dX_0/dt по (10)

$$\frac{dX_n}{dt} = V_{00} - \frac{m_n}{m_0} * \frac{dX_n}{dt} - \frac{d\alpha}{dt} = \frac{m_0}{m_0 + m_n} \left(V_{00} - \frac{d\alpha}{dt} \right) \quad (13)$$

Дифференцируем выражение (13) по времени

$$\frac{d^2 X_n}{dt^2} = -\frac{m_0}{m_0 + m_n} \frac{d^2 \alpha}{dt^2}, \quad (14)$$

подставляем его в (7)

$$m_n \frac{d^2 X_n}{dt^2} = -\frac{m_0}{m_0 + m_n} \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = f(\alpha) \quad (15)$$

Запишем (15) в виде обычного дифференциального уравнения

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + \frac{m_0 + m_n}{m_0 * m_n} f(\alpha) = 0, \quad (16)$$

или

$$\alpha'' + \frac{m_0 + m_n}{m_0 * m_n} f(\alpha) = 0. \quad (17)$$

После преобразования получим

$$d[(\alpha')^2] = -2 \frac{m_0 + m_n}{m_0 * m_n} f(\alpha) d\alpha. \quad (18)$$

При $t=0$

$$\frac{dX_0}{dt} = V_{00}, \quad \frac{dX_n}{dt} = 0,$$

$$\alpha' = \frac{d\alpha}{dt} = V_{00} - 0, \quad \text{тогда} \quad (\alpha')^2 = V_{00}^2$$

Интегрируя (18), находим

$$\int_{V_{00}}^{(\alpha')^2} d[(\alpha')^2] = -2 \frac{m_0 + m_n}{m_0 * m_n} \int_0^\alpha f(\alpha) d\alpha,$$

$$(\alpha')^2 - V_{00}^2 = -2 \frac{m_0 + m_n}{m_0 * m_n} \int_0^\alpha f(\alpha) d\alpha,$$

$$\alpha' = \frac{d\alpha}{dt} = \sqrt{V_{00}^2 - 2 \frac{m_0 + m_n}{m_0 * m_n} \int_0^\alpha f(\alpha) d\alpha}. \quad (19)$$

Разделяя переменные и интегрируя, получим

$$t = \int_0^\alpha \left(V_{00}^2 - 2 \frac{m_0 + m_n}{m_0 * m_n} \int_0^\alpha f(\alpha) d\alpha \right)^{-\frac{1}{2}} d\alpha. \quad (20)$$

Заметим, что полной осадке соответствует условие экстремума $d\alpha/dt = 0$, то есть

$$\frac{d\alpha}{dt} = \left(V_{00}^2 - 2 \frac{m_0 + m_n}{m_0 * m_n} \int_0^{\alpha_m} f(\alpha) d\alpha \right)^{-\frac{1}{2}} = 0, \quad (21)$$

откуда

$$\int_0^{\alpha_m} f(\alpha) d\alpha = \frac{m_n}{m_0 + m_n} * \frac{m_0 * V_{00}^2}{2} = A_\partial, \quad (22)$$

где A_∂ – энергия деформирования заклепки.

Исходя из этого, запишем выражение (20) зависимости осадки α по времени t в общем виде

$$t = \frac{1}{V_{00}} \int_0^\alpha \left(1 - \frac{1}{A_\partial} \int_0^\alpha f(\alpha) d\alpha \right)^{-\frac{1}{2}} d\alpha. \quad (23)$$

Введя безразмерный параметр – относительную посадку – $z = \alpha/\alpha_m$, и подставив в качестве верхнего предела интегрирования $z = 1$, получим выражение для определения полного времени процесса клепки

$$t_\partial = \frac{\alpha_m}{V_{00}} * \int_0^1 \left(1 - \frac{1}{A_\partial} \int_0^\alpha f(\alpha) d\alpha \right)^{-\frac{1}{2}} dz. \quad (24)$$

Таким образом, полученная зависимость (23) дает возможность, используя выражения (12) и (13) и учитывая конкретный характер силового взаимодействия (6) найти перемещения деформирующих элементов ударной системы поддержки и обжимки в любой момент процесса клепки.

Литература

1. Чистяк В.Г. Процесс образования соединений заклепками с компенсаторами при импульсной клепке. Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства, вип. 10. "Підвищення надійності відновлюємих деталей машин. Фізичні та комп'ютерні технології", Харків, 2002, С.150-153.
2. Лепетюха В.С., Чистяк В.Г., Федосенко И.Г. Изучение процесса импульсной клепки с помощью сверхскоростной фоторегистрирующей установки СФР // Высокоскоростная обработка материалов давлением. – Харьков: ХАИ, 1982 – вып. 8 – С. 46-51.
3. Вернер Гольдсмит. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел. М., Стройиздат, 1965. - 448 с.
4. Пановко Я.Г. Введение в теорию механического удара. М., Наука, 1977. - 224 с.
5. Кильчевский Н.А. Теория соударений твердых тел. Киев, Наукова думка, 1969. - 246 с.