

УДК 621.7.044

В.Г. Чистяк, канд. техн. наук, доц., Харьковский государственный экономический ун-т

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЗМА ОБРАЗОВАНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ КЛЕПКЕ

В.Г. Чистяк. Особливості механізму утворення з'єднань при імпульсному клепанні. Кінематика процесу, механізм утворення з'єднань, оцінка величин прогину пакету та енергії деформування, що поглинається при імпульсному клепанні.

V.G. Chistyak. Features of mechanism of formation connections with impulsive riveting. Brought kinematics of process, mechanism of forming the join, evaluation of values of sagging a package and absorb energy of deforming under pulsed stave

40...50% общего объема заклепочных соединений при сборке самолетных конструкций производится в стапелях (приспособлениях) при невозможности реализации стационарного оборудования и клепальных автоматов. В таких условиях единственно возможным остается применение ударной клепки, выполняемой по незамкнутой схеме силового нагружения. Известны преимущества и области предпочтительного применения импульсных клепальных устройств, в частности, пневмоимпульсных одноударных клепальных молотков, использование которых также возможно в качестве силовых исполнительных органов робототехнических клепально-сборочных комплексов (РТК).

Технология импульсной клепки отличается не только улучшением санитарно-гигиенических условий труда клепальщиков, но и повышением качества соединений, его стабильностью, а также не требует опыта и высокой квалификации исполнителей.

Повышение качества характеризуется прежде всего величиной и равномерностью распределения радиального натяга в пакете, гладкостью поверхности обшивки и, как показали исследования, объясняется кинематикой процесса клепки. Механизм образования соединения при прямом способе импульсной клепки можно упрощенно представить в виде трех основных этапов (рис. 1).

I этап – это начальный момент, предшествующий приложению импульсной нагрузки заклепке 2 посредством обжимки 1 (массой m_0). При этом заклепка с диаметром стержня d_3 установлена в отверстие диаметром d_0 пакета 3 и удерживается поддержкой 4 массой m_n .

II этап – начало осадки стержня заклепки 2. Заклепка по мере осадки ее стержня до диаметра, равного диаметру отверстия в пакете 3 ($d_3 = d_0$), перемещается в направлении удара. Под закладной головкой (между головкой и поверхностью пакета) образуется первоначальный зазор δ_3 , при этом пакет условно неподвижен.

На заключительном, III этапе, под действием усилия формирования замыкающей головки заклепки, пакет перемещается на величину X_c в направлении удара (со скоростью большей чем скорость перемещения заклепки и поддержки), зазор δ_3 устраняется. Избыток материала стержня заклепки под закладной головкой заклепки вминается в пакет образуя дополнительный радиальный натяг.

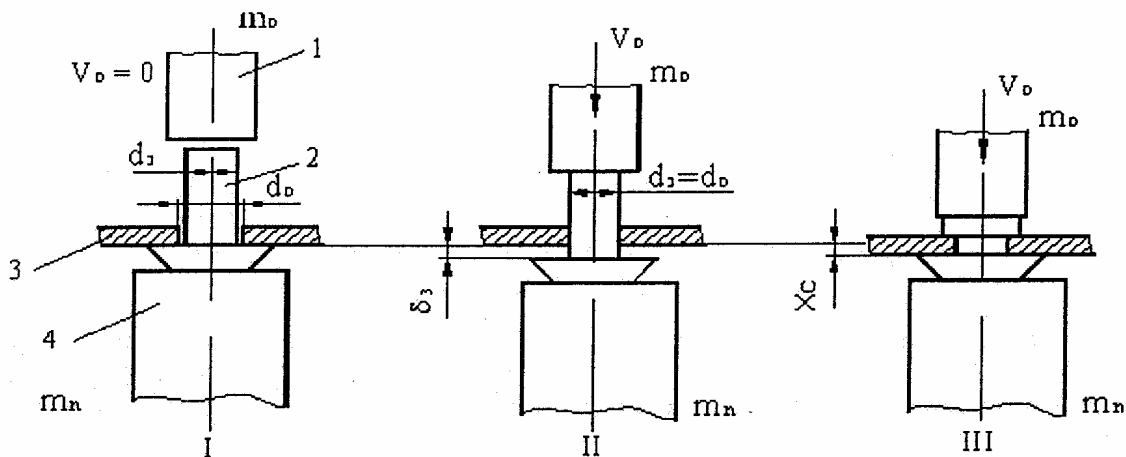


Рис.1. Механизм образования заклепочного соединения при импульсной клепке: 1 – обжимка; 2 – заклепка; 3 – пакет; 4 – поддержка

Кинематика процесса гораздо сложнее, но как показали исследования с помощью высокоскоростной камеры СФР [1], в общем можно сделать следующий вывод. При прямом способе импульсной клепки и незамкнутой схеме силового нагружения первоначально под закладной головкой заклепки образуется зазор. Для образования качественного соединения пакет должен обладать определенной упругой податливостью, т.е. должен иметь достаточную величину прогиба, превышающую суммарную величину перемещения поддержки к моменту завершения формирования соединения и величину перемещения заклепки, равную первоначальному зазору δ_3 , определяемому перемещением поддержки и деформацией закладной головки заклепки (контактными явлениями в этой области).

Анализ конструкций планеров самолетов и условий их стальной сборки показывает, что клепка осуществляется вдоль силового набора, например, стрингеров, подкрепляющих обшивку. Стрингеры опираются и присоединены к шпангоутам (или нервюрам) технологическими фиксаторами или прижимаются рубильниками стапеля. Поэтому для приближенной оценки прогибов склепываемого пакета используем предложенный Рэлеем способ определения прогибов горизонтально расположенной и свободно опертой на концах балки АВ под действием падающего с определенной высоты груза m_0 [2, 3]. Расчетная схема представлена на рис. 2.

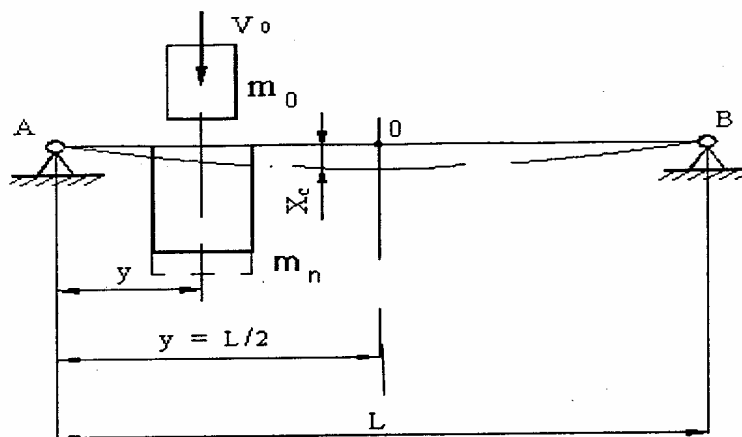


Рис. 2 Расчетная схема исследования прогибов пакета при импульсной клепке

Для упрощения решения задачи введем допущения:

- в конструкции балки при ударе после контакта возникают только упругие деформации;
- соударяющиеся тела после контакта перемещаются совместно;
- другие явления и потери энергии при ударе не учитываются.

Считая сначала, что балка не обладает массой, закон сохранения энергии

$$\frac{m_0 V^2}{2} + m_0 g X_c = \frac{P_{y\delta} \cdot X_c}{2}. \quad (1)$$

Из приведенного закона следует, что кинетическая энергия обжимки (груза) $\frac{m_0 V^2}{2}$ и работа ее силы тяжести $m_0 g X_c$ переходят в потенциальную энергию деформации пакета $\frac{P_{y\delta} \cdot X_c}{2}$.

$P_{y\delta}$ – приложенная в середине балки эквивалентная сила, которая при ее статическом действии вызывает такой же прогиб X_c как при ударе.

Наибольший прогиб (стрела прогиба) возникает посередине балки (в т. 0, рис. 2), для принятой расчетной схемы он равен [2]

$$X_c = \frac{P_{y\delta} \cdot L^3}{48EI}, \quad (2)$$

где EI – жесткость балки.

Из выражения (2) находим

$$P_{y\delta} = \frac{48EI \cdot X_c}{L^3}, \quad (3)$$

тогда (1) приобретает вид

$$X_c^2 - \frac{2m_0 g L^3 X_c}{48EI} - \frac{m_0 V^2 L^3}{48EI} = 0 \quad (4)$$

Приняв имеющее физический смысл значение корня полученного квадратного уравнения, находим

$$X_c = \delta_c \left(1 + \sqrt{1 + \frac{V^2}{g\delta_c}} \right) \quad (5)$$

где δ_c – прогиб, вызываемый статически действующей силой $m_0 g$ тяжести обжимки,

$$\delta_c = \frac{m_0 g L^3}{48EI}. \quad (6)$$

При клепке боковых заклепочных швов, когда направление удара горизонтально, в выражении (1) исключается составляющая работы силы тяжести обжимки $m_0 g X_c$ и величина прогиба пакета определяется выражением

$$X_c = \sqrt{\frac{V^2}{g}} \delta_c. \quad (7)$$

Следуя решению подобной задачи Коксом [2, 3], учитывающему массу балки, представим массы стрингера и обшивки как приведенную массу M_n пакета, сосредоточенную совместно с массой m_n поддержки в местах постановки заклепок. Тогда величина прогиба X_c будет иметь вид

$$X_c = \sqrt{\frac{V^2}{g \left(1 + \frac{M_n + m_n}{m_0}\right)}} \cdot \delta_c, \quad (8)$$

где m_n – масса поддержки;

M_n – приведенная масса пакета, распределяемая вдоль стрингера согласно зависимости [2],

$$M_n = 2 \int_0^{L/2} \overline{M}(y) \left(\frac{3L^2 y - 4y^3}{L^3} \right) dy, \quad (9)$$

где y – координата точки приложения нагрузки, отсчитываемая от левой опоры А;

$\overline{M}(y)$ – интенсивность распределенной массы пакета.

При $\overline{M}(y) = \text{Const}$ общая масса M_0 пакета (масса стрингера и присоединенной обшивки) равна

$$M_0 = \overline{M}(y) \cdot L. \quad (10)$$

Предварительные расчеты с использованием выражения (9) показывают, что значения приведенной массы пакета изменяются от $M_n = \frac{17}{35} M_0$ в середине $\left(y = \frac{L}{2}\right)$ до пренебрежимо малых значений $M_n = 2 \cdot 10^{-4} M_0$ на минимальном расстоянии от шпангоута, равном шагу заклепок шва (например, $y = 0,02m$).

В связи с этим, поскольку определяющими являются места клепки с минимальным прогибом пакета, то есть вблизи опор (шпангоутов или нервюр), выражение (8) упростится

$$x_c = \sqrt{\frac{V^2}{g(1+n)}} \delta_c, \quad (11)$$

где $n = \frac{m_n}{m_0}$.

Статический прогиб δ_c пакета в любой точке приложения нагрузки $m_0 g$ определяется по известным из курса сопротивления материалов выражением, которые преобразуем к виду

$$\delta_c = \frac{m_0 g y^2 (L - y)^2}{3EIL}. \quad (12)$$

Отношение $\frac{V^2}{g}$ в выражениях (5), (7), (8) и (11) является эквивалентом удвоенной приведенной высоты падения груза $h_0 = \frac{V^2}{2g}$ [3].

Согласно классической теории удара, кинетическая энергия, затрачиваемая на деформирование [4],

$$A_{\partial} = \frac{m_0 \cdot m_n (1 - k^2)}{2(m_0 + m_n)} \cdot V_0^2, \quad (13)$$

где k – коэффициент восстановления (например, для заклепок из сплава В 65 $k = 0,1$).

Из (13), с учетом $n = \frac{m_n}{m_0}$, а также учитывая коэффициентом φ энергию, поглощаемую в процессе клепки пакетом (прогибаемой балкой), определим начальную скорость обжимки

$$V_0 = \sqrt{\frac{A_{\partial} \cdot (1 + \varphi)(n + 1)}{m_0 \cdot n(1 - k^2)}}. \quad (14)$$

Из выражения (11) с учетом (12) и (14) находим, что коэффициент φ , учитывающий энергию, расходуемую на обеспечение требуемой величины прогиба X_c пакета, будет равен

$$\varphi = EI \cdot \frac{3X_c^2 L \cdot n(1 - k^2)}{2A_{\partial} y^2 (L - y)^2}. \quad (15)$$

Анализируя (15), убеждаемся, что для обеспечения прогибов X_c пакета, достаточных для устранения первоначального зазора под закладной головкой, энергетические затраты возрастают от минимальных (при клепке в средней части межопорного пролета шва) до максимальных (при клепке вблизи опор) значений. Поэтому при осуществлении процесса импульсной клепки с постоянной энергией ударов энергия деформирования по мере приближения к шпангоуту (или нервюре) уменьшается за счет увеличения доли энергии, расходуемой на прогиб пакета. Предварительные расчеты показывают, что контролируемые параметры замыкающих головок (как правило, их диаметр и высота) заклепок сохраняются в допустимых пределах при изменении энергии деформирования до 20...30%.

В связи с этим целесообразно коэффициент, учитывающий расходуемую на прогиб пакета энергию, ограничить пределами

$$0 < \varphi < 0,2...0,3. \quad (16)$$

Расчеты показывают, что при импульсной клепке с исходными данными, характерными для заклепочных швов фюзеляжа и для большинства стыковых швов: $E = 0,7 \cdot 10^{10}$ кг/м², $I \leq 5 \cdot 10^{-8}$ м⁴, $L = 0,5$ м, $n = 10...16$, $k = 0,1$, $A_{\partial} = 50...100$ Дж, коэффициент энергии, расходуемой на обеспечение минимального требуемого прогиба $X_c = 4 \cdot 10^{-4}$ м ($y = 0,02$), составляет $\varphi = 0,05...0,16$ (5...16% от энергии деформирования A_{∂}).

Следует также отметить, что расхождения в значениях величин прогибов пакета вблизи опор ($y = 0,02$ м), определяемых по выражениям (5) и (7), отражающим взаимное расположение шва и клепаного инструмента (направление удара), не превышает 0,15...0,8%. Это подтверждает пригодность (11) и (15) для исследования прогибов пакетов при импульсной клепке с произвольным расположением заклепочных швов.

Исследование механизма образования заклепочного соединения, в частности величин упругих прогибов пакета и поглощаемой при этом энергии деформирования показали, что для обеспечения качественных заклепочных соединений (исключения остаточных зазоров под закладными головками и отсутствия локальных деформаций пакета, поводов) при внедрении технологии импульсной клепки могут быть целесообразными следующие рекомендации:

- применение синхронной клепки (АС №839138, СССР), реализация которой возможна в клепально-сборочных РТК;
- применение специальных активно действующих поддержек (АС №1412877, 1315099, СССР);
- применение групповых поддержек, укрепляемых на конструкции или в стапеле (АС №1180145, СССР);
- увеличение соотношения $n = m_n / m_0$, в первую очередь за счет уменьшения m_0 (АС №1605383, СССР);
- отдавать предпочтение клепке упруго-податливых пакетов;

- применение специальных конструкций заклепок, обеспечивающих возможность управления контактными явлениями в области между закладными головками заклепок и рабочей поверхностью поддержек (АС' №776153, СССР).

Литература

1. Лепетюха В. С., Чистяк В. Г., Федосенко Н. Г. Изучение процесса импульсной клепки с помощью сверхскоростной фото-регистрирующей установки СФР // Высокоскоростная обработка материалов давлением. — Харьков: ХАИ, 1982. — Вып. 8.— С. 46—51.
2. Пановко Я. Г. Введение в теорию механического удара. — М.: Наука, 1977.
3. Кильчевский Н. А. Теория соударения твердых тел. Киев: Наукова думка, 1969.
4. Александров Е. В., Соколинский В. Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. — М.: Наука, 1969.