

УДК 624.011.14:624.078.41:624.046

РАСЧЕТ ЗУБА КОГТЕВОЙ ШПОНКИ КАК БАЛКИ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

CALCULATION OF TOOTH CLAW COTTERS AS A BEAM ON ELASTIC FOUNDATION

*Е.В. Данилов, (Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)*

*E.V. Danilov, (St. Petersburg State University of Architecture and
Civil Engineering)*

Аннотации

В статье предлагается подход к определению несущей способности зуба когтевой шпонки с учетом таких факторов, как геометрия зуба и модуля упругости металла шпонки. Данное решение основывается на гипотезе пропорциональности изгибающего момента в сечении зуба прогибу, в связи с характерной треугольной формой зуба.

Ключевые слова: когтевые шпонки, шпонки типа Bulldog, металлические зубчатые пластины.

The paper presents an approach to the determination of the carrying capacity of the tooth claw cotters based on factors such as the geometry of the tooth and the modulus of elasticity of the metal connector. This decision is based on the assumption the proportionality of the bending moment in the cross section to tooth deformation, due to the distinctive triangular shape of the tooth.

Key words: toothed ring connection, cotters Bulldog type, punched metal plates.

При производстве строительных конструкций, как правило, возникает проблема в обеспечении большой несущей способности соединений на малых площадях при болтовых соединениях. Для этого были разработаны различные типы соединений с введением специальных вспомогательных частей, таких, как деревянные и металлические шпонки. В 20х годах XX века появляются специальные виды шпонок типа Bulldog, и т. п., которые устанавливаются между сплавляемыми досками без предварительного сверления гнезда - путем вдавливания.

Когтевая шпонка Bulldog - это соединительный элемент в виде двухсторонней или односторонней зубчатой шпонки, изготовленной из круглой пластины, края которой вырезаны и наклонены под углом 90^0 к ее плоскости, образуя треугольные когти (рис. 1). Нагрузка, передающаяся от сдвигаемых элементов соединения, воспринимается

суммарной площадью внедренных когтей, через которые передается на другие элементы. Для того чтобы объективно прогнозировать несущую способность соединений необходимо получить теоретическую зависимость способности соединения и факторов, влияющих на нее. На сегодняшний день расчетные формулы несущей способности шпонки представлены в Eurocode 5 и являются эмпирическими, но они не учитывают изменения несущей способности при увеличении плотности древесных элементов соединения более 350 кг/м^3 . Таким образом, получение теоретических зависимости несущей способности зуба шпонки от механических характеристик материала металла и древесины, а так же формы зуба, является актуальной задачей.

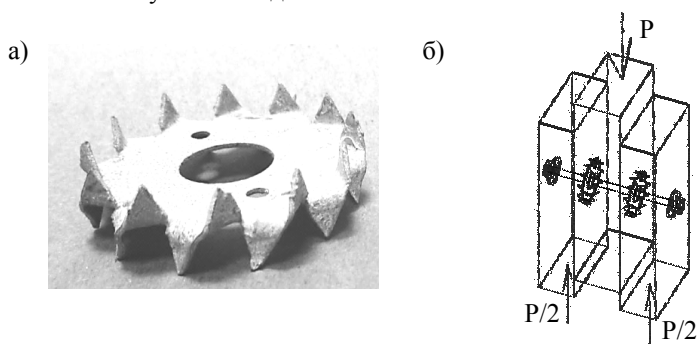


Рис. 1 – Когтевая пластина Bulldog:
 а - внешний вид когтевой пластины; б - принципиальная схема нагельного соединения с использованием когтевых шайб.

По своей работе зубцы когтевых пластин аналогичны зубцам МЗП. На сегодняшний день существуют методы расчета позволяющие определять прочность и жесткость узловых соединений на МЗП с учетом упруго-вязких и пластических деформаций. Существенное отличие в работе зубцов когтевой шпонки и МЗП заключается в переменном моменте инерции $I(x)$ по сечению когтя (для шпонок), в связи с их треугольной формой. При расчетах несущей способности МЗП, форма зуба принимается прямоугольной. Это существенное различие оставляет перспективы для изучения работы когтевой пластины с учетом треугольной формы зубцов.

Если рассмотреть зуб когтевой шпонки, внедренной в древесину, как балку на упругом основании (рисунок 2), то нахождение несущей способности зуба выполнимо через следующую зависимость:

$$EI(x) \frac{d^4 y}{dx^4} - ky = 0 \quad (1)$$

где $EI(x) \neq \text{const}$; k – коэффициент постели; y – перемещение; x – координата длины когтя.

Решение данного уравнения четвертого порядка представляет собой трудоемкую задачу, поскольку для его решения нет стандартного решения. Однако, так же можно сделать замечание, что момент в сечении зуба $M(x)$, возникающий от усилия P_0 , увеличивается от острия когтя к его основанию. Момент инерции $I(x)$, в свою очередь, так же увеличивается от острия к основанию зуба.

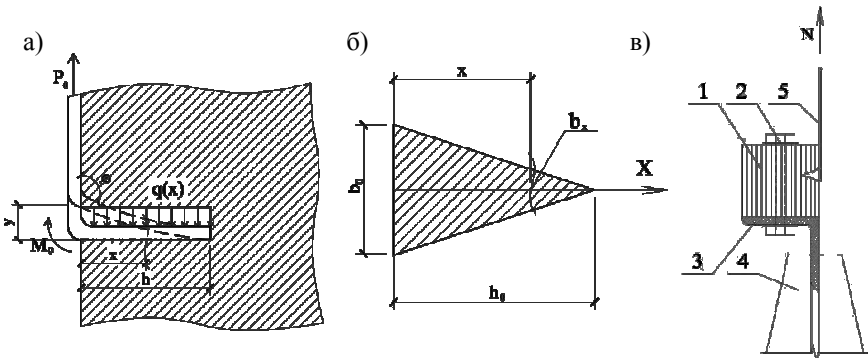


Рис. 2 – а) схема к расчету зуба когтевой шпонки, б) геометрия зуба шпонки 3) испытательная установка: 1 – параллелепипед, выполненный из древесины 50x50x30 мм, 2 - стяжной болт Ø8 мм, 3 – равнополочный уголок 50x5 мм, 4 – захват испытательной машины, 5 – полоса с когтем.

Из вышесказанного можно сделать предположение, что перемещения зуба шпонки y прямо пропорциональны изгибающему моменту в сечении $M(x)$. Или $M(x) = -k_0 y$ тогда:

$$EI(x) \frac{d^2 y}{dx^2} + k_0 y = 0. \quad (2)$$

Функция осевого момента инерции сечения зуба:

$$I(x) \frac{b_x S^3}{12} = \frac{b_x S^3}{12} - \frac{b_0 S^3}{12 h_0} x = a - c_0 x; \quad \text{при } a = \frac{b_0 S^3}{12}; \quad c_0 = \frac{b_0 S^3}{12 h_0}; \quad (3)$$

где b_x, S, h_0, b_0 - геометрические характеристики зуба;

тогда после математических преобразований и подстановок можно получить следующее уравнение:

$$t^2 y'' + bty' = 0. \quad (8)$$

Решение уравнения (8) не выражается через элементарные функции и приводит к использованию функций Бесселя. Выполняя математические преобразования и подстановки можно выразить зависимости $y(x)$, $\varphi(x)$, $M(x)$, $Q(x)$, $q(x)$, от геометрических характеристик зуба шпонки, модуля упругости металла и усилия прилагаемого к зубу шпонки.

Для проверки выдвинутой гипотезы о пропорциональности изгибающего момента сечения $M(x)$, и прогиба y с реальными значениями необходимо провести эксперимент, аналогичный [1], подтверждающий гипотезу. Необходимо внедрить 1 зуб шпонки в древесину, согласно рисунку 2, и при заданном усилии P измерить деформации y в основании зуба (при $x=0$). При этом должны быть использованы материалы и их габариты соответствующие реальным.

В случае успешного подтверждения гипотезы, полученные уравнения $y(x)$, $\varphi(x)$, $M(x)$, $Q(x)$, $q(x)$ могут быть приняты за основу расчета несущей способности соединений на когтевых шпонках. Для металла зуба несущая способность может быть исчерпана достижением предельных значений изгибающего момента $M(x)$, когда происходит предельный отгиб зуба $\varphi(x)$, что дает критическое значение деформаций $y(x)$, при этом величина P должна быть не более величины P_0 соответствующей расчетному значению $M(x)_{расч}$ или предельному перемещению пластины 1,5 мм, согласно пп. 8.49 [2]. Для древесины основания несущая способность может быть исчерпана при достижении напряжения смятия $\sigma_{см} = q(x)$, возникающими в месте передачи нагрузки от зуба к основанию при усилии P , которое должно быть не более $R_{см}$ для древесины. Из полученных значений P выбирается наименьшее значение и принимается в качестве несущей способности зуба пластины.

Таким образом, задача в получении зависимости несущей способности одного зуба от факторов (геометрия зуба, материал шпонки) может иметь решение.

Список литературы:

1. *Копаница Д. Г., Лоскутова Д. В., Савченко В. И., Пляскин А. С.* Определение коэффициента постели для расчета узлового соединения элементов из древесины на МЗП / Вестник ТГАСУ №2 2011. – 82 стр.
2. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная версия СНиП П-25-80. ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко институт ОАО «НИИЦ «Строительство». М.: 2011. – 87 с.