

УДК 539.4

А. П. Клубков, доцент; С. С. Макаревич, профессор; А. А. Гришкевич, канд. техн. наук;
Б. В. Войтеховский, аспирант

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ТВЕРДОСПЛАВНОМ ДВУХСЛОЙНОМ РЕЖУЩЕМ ИНСТРУМЕНТЕ

In article theoretical calculation of pressure in a two-layer cutter for milling wood and wood materials is resulted.

В условиях непрерывного увеличения потребности в дереворежущем инструменте экономия вольфрамсодержащих твердых сплавов является стратегически важной задачей. Одним из путей экономии этих сплавов является повышение качества пайки и рациональное конструирование составного твердосплавного инструмента.

Применение паяных конструкций при изготовлении твердосплавного дереворежущего инструмента – пример рационального использования инструментальных материалов. В этом случае расход материала оптимальный, и он используется до полного изнашивания режущей твердосплавной части.

Напряжение, возникающее в пределах контакта, определяемых стружкой и передней поверхностью резца, будет рассчитываться как для однородной пластины в виде клина. Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные различными авторами за последние 20–30 лет, показывают, что нет единого мнения о характере распределения нагрузки на переднюю поверхность режущего инструмента при обработке древесины и древесных материалов резанием.

От размеров контактных площадок при взаимодействии резца с обрабатываемым мате-

риалом зависят нагрузки, возникающие в зоне обработки. В первом приближении задача о контакте передней поверхности резца с отделяемым слоем обрабатываемого материала в резании представляется и решается как статическая задача о взаимодействии жесткого плоского «штампа» – резца на полубесконечные основание – стружку.

При механической обработке древесины и древесных материалов нагрузка на режущий инструмент может меняться в зависимости от породы, направления резания, физико-механических свойств плитных материалов и т. д. При этом меняется не только величина нагрузки, но и характер ее распределения. Поэтому авторы приняли за основу уравнение, описывающее распределение интенсивности нагрузки в пределах контакта (рис. 1) в следующем виде:

$$q = q_0 \left(1 - \frac{x}{a}\right)^n, \tag{1}$$

где q_0 – интенсивность нагрузки на кромке режущего лезвия; a – длина контакта стружки с резцом; n – константа, от которой зависит характер распределения нагрузки.

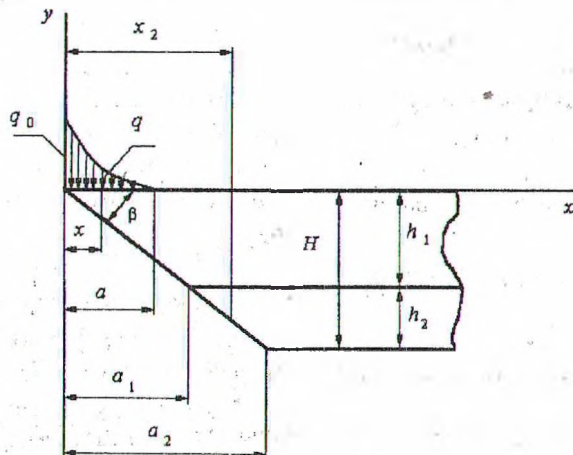


Рис. 1. Схема нагружения передней поверхности режущего инструмента

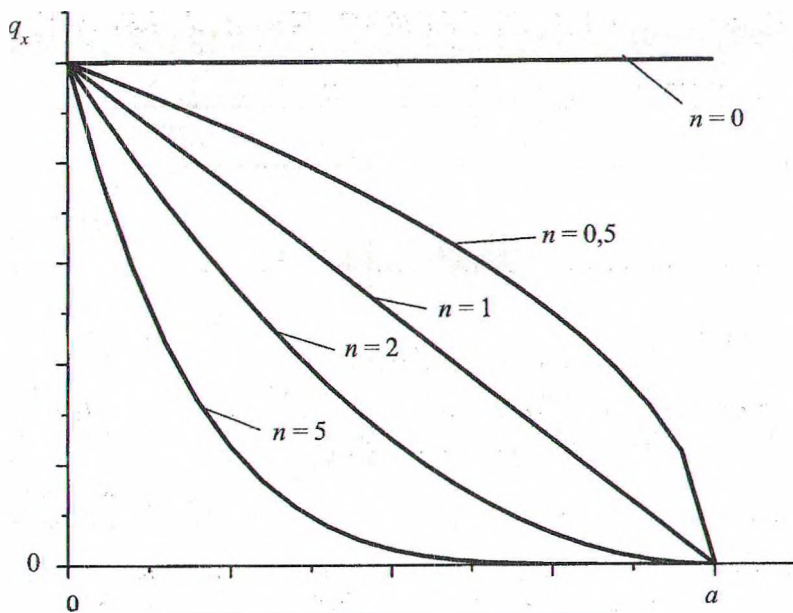


Рис. 2. Виды распределения нагрузки

Формула (1) универсальна. Ею описывают все эпюры нормальных давлений, предложенные для анализа процесса резания древесины. Задаваясь различными значениями n , можно получать различные виды распределения нагрузки на участке a (рис. 2). Так, при $n = 0$ получим равномерно распределенную нагрузку (согласно И. А. Тиме, С. А. Воскресенскому); при $n = 1$ – нагрузку, распределенную по треугольнику (согласно П. А. Афанасьеву, М. А. Дешевому); при других значениях n нагрузка будет распределена по криволинейному закону.

Вследствие трения стружки на передней поверхности резца возникает касательная нагрузка, которая в соответствии с формулой (1) запишется в следующем виде:

$$S_x = \mu q_0 \left(1 - \frac{x}{a}\right)^n. \quad (2)$$

где μ – коэффициент трения между отделяемой стружкой и поверхностью резца.

Задаваясь различными значениями n , можно получить кривые распределения нагрузки на участке a .

Равнодействующая нормального давления на участке a будет равна

$$F_n = \int_0^a q_x dx = \frac{aq_0}{n+1}. \quad (3)$$

Равнодействующая касательной нагрузки на участке a

$$F_k = \mu \frac{aq_0}{n+1}. \quad (4)$$

Равнодействующая нормальной нагрузки на участке x

$$F_{nx} = \int_0^x q_x dx = \frac{aq_0}{n+1} \left(1 - \left(1 - \frac{x}{a}\right)^{n+1}\right). \quad (5)$$

Равнодействующая касательного давления на участке x

$$F_{kx} = \mu \frac{aq_0}{n+1} \left(1 - \left(1 - \frac{x}{a}\right)^{n+1}\right). \quad (6)$$

Расстояние от оси y до равнодействующей F_{nx} будет равно

$$x_0 = \frac{S_y}{F_{nx}}, \quad (7)$$

где S_y – статический момент относительно оси y площади эпюры нормального давления на участке x :

$$S_y = \int_0^x q_x x dx = a^2 q_0 \left(\frac{1}{(n+1)(n+2)} + \frac{\left(1 - \frac{x}{a}\right)^{n+2}}{n+2} - \frac{\left(1 - \frac{x}{a}\right)^{n+1}}{n+1} \right). \quad (8)$$

На расстоянии x от начала координат проведем сечение в резце, перпендикулярное оси абсцисс. В этом случае будет возникать изгибающий момент относительно точки пересечения с осью x от продольной силы:

$$M_x = -F_{nx}(x - x_0); \quad N_x = -F_{kx}. \quad (9)$$

Нормальное напряжение в произвольной точке сечения, расположенной на расстоянии y от оси x , будет равно

$$\sigma = \frac{M_x(S_z - AY) + N_x(I_z - S_z Y)}{AI_z - S_z^2}, \quad (10)$$

где $S_z = -\frac{bh_x^2}{2}$, $I_z = \frac{bh_x^3}{3}$, $A = bh_x$, b – ширина сечения; h_x – высота сечения $h_x = x \operatorname{tg} \beta$.

При $x = a$

$$S_y = a^2 q_0 \frac{1}{(n+1)(n+2)},$$

$$F_{nx} = \frac{aq_0}{n+1} = F$$

и расстояние от оси y до равнодействующей всей нормальной нагрузки будет равно

$$x_c = \frac{S_y}{F} = \frac{a}{n+2}. \quad (11)$$

Рассмотрим сечение резца на расстоянии x_1 от начала координат за пределами действия нагрузки: $a \leq x_1 \leq a_1$, $a_1 = h_1 / \operatorname{tg} \beta$. В этом сечении: $M_{x1} = -F(x_1 - x_c)$, $N_{x1} = -F_{kx}$, а напряжения будут определяться по формуле (10).

В сечении x_2 ($a_1 \leq x_2 \leq a_2$; $a_2 = H / \operatorname{tg} \beta$) изгибающий момент и продольная сила будут определяться так же, как в сечении x_1 . $M_{x2} = -F(x_2 - x_c)$; $N_{x1} = -F_{kx}$, но в данном сечении резец состоит из двух слоев. Напряжения в этом сечении будут определяться по формулам:

$$\sigma_1 = E_1 \frac{M_{x2} \left(\sum_{i=1}^m (E_i S_i) - \sum_{i=1}^m (E_i A_i) y \right)}{\sum_{i=1}^m (E_i A_i) \sum_{i=1}^m (E_i I_i) - \left(\sum_{i=1}^m (E_i S_i) \right)^2} +$$

$$+ E_1 \frac{N_{x2} \left(\sum_{i=1}^m (E_i I_i) - \sum_{i=1}^m (E_i S_i) y \right)}{\sum_{i=1}^m (E_i A_i) \sum_{i=1}^m (E_i I_i) - \left(\sum_{i=1}^m (E_i S_i) \right)^2}; \quad (12)$$

$$\sigma_2 = E_2 \frac{M_{x2} \left(\sum_{i=1}^m (E_i S_i) - \sum_{i=1}^m (E_i A_i) y \right)}{\sum_{i=1}^m (E_i A_i) \sum_{i=1}^m (E_i I_i) - \left(\sum_{i=1}^m (E_i S_i) \right)^2} +$$

$$+ E_2 \frac{N_{x2} \left(\sum_{i=1}^m (E_i I_i) - \sum_{i=1}^m (E_i S_i) y \right)}{\sum_{i=1}^m (E_i A_i) \sum_{i=1}^m (E_i I_i) - \left(\sum_{i=1}^m (E_i S_i) \right)^2}, \quad (13)$$

где m – число слоев (в нашем случае $m = 2$); E_i – модуль продольной упругости слоев; A_i – площади поперечного сечения слоев; S_i – статические моменты относительно оси z поперечного сечения слоев; I_i – момент инерции относительно оси z поперечного сечения слоев.

Следует иметь в виду, что для первого слоя высота сечения равна h_1 , а для второго $h_{2(x2)} = (x_2 - a_1) \operatorname{tg} \beta$.

Нормальные напряжения в сечении за пределами a_2 будут определяться также по формулам (12) и (13), только вместо $h_{2(x2)}$ необходимо подставить h_2 .

Формулы (10), (12) и (13) позволяют определять напряжения в любом сечении паяного фрезерного инструмента при различном распределении нагрузки на переднюю поверхность по длине контакта, а следовательно, производить проверочный расчет резца на прочность.