

А.П. Клубков, доцент; С.С. Макаревич, профессор; А.А. Гришкевич, канд. техн. наук

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В КОМПОЗИЦИОННОМ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕМ НОЖЕ ПРИ ЕГО ИЗГОТОВЛЕНИИ

Deformation of pressure calculation in woodworking knife have been given.

The determination of deformations and pressure in composite woodworking knife during its manufacture.

Перспективный способ повышения износостойкости фрезерного инструмента – изменение физико-механических свойств материала режущей кромки ножа в соответствии с условиями работы (изнашивания) каждого участка лезвия. Такой инструмент, прежде всего, необходим для обработки слоистых древесных плитных материалов.

Большие возможности для изготовления такого инструмента открывает порошковая металлургия, которая позволяет получить композиционный материал с заданными физико-механическими свойствами и оптимальным темпом износа по длине рабочего лезвия.

Композиционные дереворежущие инструменты могут быть использованы для обработки конкретного материала при заданном режиме резания и стойкости инструмента. Основной областью применения инструмента из порошковых материалов является изготовление ножей большой длины (плоские ножи для продольно-фрезерных станков) и сложной формы (инструмент для фасонного фрезерования).

Применение порошковых материалов для изготовления дереворежущего инструмента имеет следующие преимущества: повышенную шлифуемость, закаливаемость и прочность, более равномерное распределение карбидов и меньшую остаточную деформацию после закалки. Оптимальная твердость порошковых инструментальных сталей в условиях эксплуатации составляет 67...69 HRC₃. Опыты, проведенные при фрезеровании паркетной фрезы, показали стойкость ножей из порошковых инструментальных сталей в 2–2,5 раза выше, чем стойкость ножей из инструментальной стали 8Х6НФТ.

Несмотря на то, что стоимость порошковых материалов может оказаться выше стоимости компактных инструментальных материалов, расход основных материалов на единицу продукции порошковой металлургии ниже, чем при обработке металлов резанием. Объясняется это, прежде всего, повышением коэффициента использования металла до 0,95–0,97 против 0,5–0,6 при обработке резанием [1]. Главным критерием применимости порошкового материала в качестве износостойкого покрытия для повышения стойкости дереворежущего инструмента является возможность перевода его частиц в расплавленное или высокопластичное состояние, с последующей их деформацией при соприкосновении с подложкой.

Под влиянием термического цикла наплавки в изделиях могут возникнуть остаточные напряжения, вызывающие образование трещин как в основном, так и в наплавленном металле, что создает угрозу разрушения изделия в целом. Основной задачей аналитических исследований являлось выяснение наиболее общих закономерностей развития деформаций и напряжений в наплавленном соединении изделия из порошка, твердого износостойкого металла и стальной подложки в зависимости от физико-механических свойств используемых материалов.

Рассмотрим изделие (плоский нож), состоящее из трех элементов (рис. 1).

Коэффициенты линейного расширения материалов соответственно равны $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, модули упругости слоев E_1, E_2, E_3 . Рассмотрим отдельно слои 1 и 2. Будем считать, что после наплавки и охлаждения изделия между слоями 1 и 2 существует абсолютная адгезионная связь. Пусть температура слоев 1 и 2 изменяется от T_0 до T . Если бы слои 1 и 2 были не связаны между собой, то слой 1 от повышения температуры удлинился бы в направлении оси X на величину

слой 2 – на величину

$$\Delta l_{1t} = \alpha_1 \times l \times (T - T_0);$$

$$\Delta l_{2t} = \alpha_2 \times l \times (T - T_0).$$

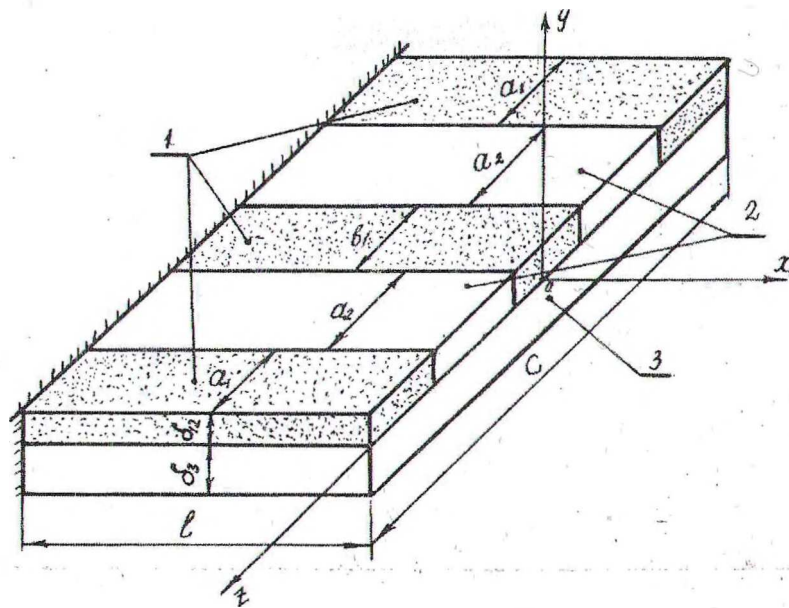


Рис. 1. Схема заготовки для композиционного ножа: 1 – композиционный порошковый износостойкий материал; 2 – износостойкий твердый сплав; 3 – корпус ножа

Так как слои связаны и симметричны, то они удлинятся на одну и ту же величину Δl . Будем предполагать, что внутренние силы в слоях растягивающие, тогда

$$\Delta l_{1t} + \Delta l_1 = \Delta l_{2t} + \Delta l_2. \quad (1)$$

$$\Delta l_1 = \frac{F_1 \times l}{(E_1 \times A_1)}; \quad \Delta l_2 = \frac{F_2 \times l}{(E_2 \times A_2)}. \quad (2)$$

Воспользуемся уравнением статики твердого тела для определения внутренних силовых факторов:

$$F_1 + F_2 = 0. \quad (3)$$

$$F_2 = -F_1. \quad (4)$$

Решая совместно уравнения (1) – (4), получим

$$\alpha_1 \times l \times (T - T_0) + \frac{F_1 \times l}{E_1 \times A_1} = \alpha_2 \times l \times (T - T_0) - \frac{F_1 \times l}{E_2 \times A_2},$$

тогда

$$F_1 = \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \times (T - T_0)}{\frac{1}{E_1 \times A_1} + \frac{1}{E_2 \times A_2}}; \quad (5)$$

$$F_2 = -\frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \times (T - T_0)}{\frac{1}{E_1 \times A_1} + \frac{1}{E_2 \times A_2}}. \quad (6)$$

Напряжения в слоях соответственно будут равны:

$$\sigma_1^* = \frac{F_1}{A_1}; \quad \sigma_2^* = \frac{F_2}{A_2}. \quad (7)$$

Удлинение слоев 1 и 2:

$$\Delta l = \alpha_1 \times l \times (T - T_0) + \frac{F_1 \times l}{E_1 \times A_1} = \frac{l \times (T - T_0) \times (\alpha_1 \times E_1 \times A_1 + \alpha_2 \times E_2 \times A_2)}{(E_1 \times A_1 + E_2 \times A_2)} = l \times \alpha_{12} \times (T - T_0),$$

где

$$\alpha_{12} = \frac{\alpha_1 \times E_1 \times A_1 + \alpha_2 \times E_2 \times A_2}{E_1 \times A_1 + E_2 \times A_2};$$

$$A_1 = (2a_1 + b_1) \times \delta_{12}; \quad A_2 = 2a_2 \times \delta_{12}.$$

Относительная деформация слоев 1 и 2

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \alpha_{12} \times (T - T_0). \quad (8)$$

Рассмотрим слои 1, 2 (как один слой) совместно со слоем 3. Выберем систему координат. Ось Z направим по границе слоев, из которых 1, 2 от изменения температуры удлинятся на величину

$$\Delta l_i = \Delta l; \quad \varepsilon_i = \varepsilon, \quad (9)$$

определяемую формулой (8). Слой 3 от изменения температуры удлинится на величину

$$\Delta l_{3l} = \alpha_3 \times l \times (T - T_0). \quad (10)$$

Так как в целом конструкция несимметрична, то она будет изгибаться относительно оси Z . После деформации слои займут положение AB (рис. 2).

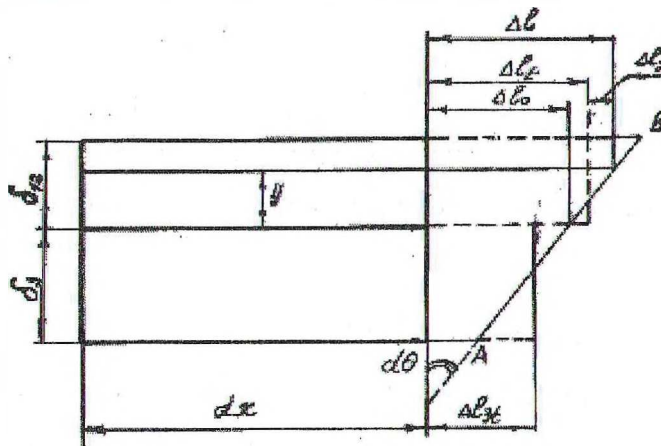


Рис. 2. Схема деформации ножа

Выделим сечение на некотором расстоянии от оси Z . Полная деформация этого слоя Δl состоит из деформации от температуры Δl_t и упругой деформации Δl_y :

$$\Delta l = \Delta l_t + \Delta l_y. \quad (11)$$

С другой стороны, можно записать:

$$\Delta l = \Delta l_0 + \Delta l_\theta, \quad (12)$$

где Δl_0 — деформация на границе слоев; Δl_θ — деформация от поворота сечения $\Delta l_\theta = y \times d\theta$.

Из уравнений (11) и (12) найдем

$$\Delta l_y = \Delta l_0 + y \times d\theta - \Delta l_t. \quad (13)$$

Относительная упругая деформация будет равна

$$\varepsilon_y = \frac{\Delta l_y}{dx} = \varepsilon_0 + K \times y - \varepsilon_t, \quad (14)$$

где $\varepsilon_0 = \frac{\Delta l_0}{dx}$ – деформация границы слоев; $K = \frac{\Delta\theta}{dx}$ – кривизна границы слоев; ε_t – относительная деформация от температуры (для слоев 1, 2), которая определяется по формуле (8), для слоя 3

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_{3t} = \alpha_3 \times (T - T_0).$$

Напряжения в слоях, согласно закону Гука, будут иметь следующие значения:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{12} &= E_{12} \times \varepsilon_y = E_{12} \times (\varepsilon_0 + K \times y - \varepsilon_t), \\ \sigma_3 &= E_3 \times \varepsilon_{3y} = E_3 \times (\varepsilon_0 + K \times y - \varepsilon_{3t}), \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

где E_{12} – приведенный модуль упругости слоев 1 и 2.

Приведенный модуль упругости E_{12} , исходя из условия совместности деформаций слоев 1 и 2, будет равен

$$E_{12} = \frac{(E_1 \times A_1 + E_2 \times A_2)}{(A_1 + A_2)} = \frac{E_1 \times (2a_1 + b_1) + 2 \times E_2 \times a_2}{2a_1 + b_1 + 2a_2}. \quad (16)$$

Уравнения равновесия запишем в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \int_{A_{12}} \sigma_{12} \times dA_{12} + \int_{A_3} \sigma_3 \times dA_3 &= 0, \\ \int_{A_{12}} \sigma_{12} \times y \times dA_{12} + \int_{A_3} \sigma_3 \times y \times dA_3 &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

где A_{12} – площадь поперечного сечения слоев 1 и 2; A_3 – площадь поперечного сечения слоя 3.

Из рис. 1 видно, что

$$A_{12} = A_1 + A_2 = c \times \delta_{12}; \quad A_3 = c \times \delta_3. \quad (18)$$

Подставляя значения напряжений согласно (15) в уравнение (17), получим

$$\left. \begin{aligned} (E_{12} \times A_{12} + E_3 \times A_3) \times \varepsilon_0 + (E_{12} \times S_{12} + E_3 \times S_3) \times K - E_{12} \times A_{12} \times \varepsilon_t - E_3 \times A_3 \times \varepsilon_{3t} &= 0, \\ (E_{12} \times S_{12} + E_3 \times S_3) \times \varepsilon_0 + (E_{12} \times J_{12} + E_3 \times J_3) \times K - E_{12} \times S_{12} \times \varepsilon_t - E_3 \times S_3 \times \varepsilon_{3t} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (19)$$

где S_{12} , S_3 – статические моменты площадей A_{12} и A_3 относительно оси Z ; J_{12} , J_3 – моменты инерции площадей A_{12} и A_3 относительно оси Z .

Решая систему (19) относительно K и ε_0 будем иметь

$$K = \frac{((S^* \times \lambda - A^* \times \beta) \times (T - T_0))}{S^{*2} - A^* \times J^*}. \quad (20)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{((J^* \times \lambda - S^* \times \beta) \times (T - T_0))}{A^* \times J^* - S^{*2}}. \quad (21)$$

где

$$S^* = E_{12} \times S_{12} + E_3 \times S_3; \quad A^* = E_{12} \times A_{12} + E_3 \times A_3; \quad J^* = E_{12} \times J_{12} + E_3 \times J_3;$$

$$\lambda = E_{12} \times A_{12} \times \alpha_{12} + E_3 \times A_3 \times \alpha_3; \quad \beta = E_{12} \times S_{12} \times \alpha_{12} + E_3 \times S_3 \times \alpha_3.$$

Заключение.

Приведенные выше уравнения позволяют определять деформации и напряжения в поперечном сечении плоского фрезерного ножа, состоящего из порошкового износостойкого материала (например, можно применить порошковые быстрорежущие стали (P6M5K5-II, P9M4K8-II, P12M3Ф3K10-II), твердого сплава (например, BK15, BK8, BK6) и подложки из конструкционной стали.

Применение порошковых материалов и теоретических зависимостей позволяет прогнозировать физико-механические свойства инструментальных материалов, параметры режущего инструмента и его стойкость при обработке древесины и древесных материалов.

Для облегчения расчетов и варьирования параметров разработано программное обеспечение для ПЭВМ. Опытно-промышленные испытания фрезерного инструмента из композиционных порошковых материалов проводили на станке ПАРК-7. Стойкость ножей увеличилась в 2–3 раза по сравнению с общеиспользуемым стальным инструментом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Роман О.В., Габриелов И.В. Справочник по порошковой металлургии: порошки, материалы, процессы. – Мн.: Беларусь, 1988. – 175 с.