

Нормативный показатель прочности облицовывания плитных материалов строганым шпоном толщиной 0,8 мм равен 1,7 кН/м. На графиках рис.2 нормативный показатель прочности отмечен горизонтальными пунктирными линиями. По графикам можно определить, при каких значениях x_1 , x_2 и x_3 достигается нормативный показатель прочности $y=1,7$ кН/м. Например, при всех сочетаниях x_1 , x_2 и x_3 , соответствующих рис.2, а, в, показатель $\hat{y} < 1,7$ кН/м, а при $x_3 = -1$, $x_1 = +1$ и любых значениях x_2 (см. рис.2, б) показатель $\hat{y}$ выше нормативного.

Выполненные исследования позволяют рекомендовать следующие режимы облицовывания стекла: клей композиционный на основе ПВА-дисперсии с введением 10% карбамидоформальдегидной смолы; расход клея не менее 110...120 г/м², вязкость 80 с по вискозиметру ВЗ-4; температура прессования 100°C, давление 0,1 МПа, продолжительность 8...9 мин. Прессование следует вести с эластичной передачей давления, т.е. вакуумное.

УДК 674.055:539.4

С.С.Макаревич, доцент;
А.А.Клубков, студент

РАСЧЕТ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ЗАГОТОВКЕ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПОСЛЕ ИНДУКЦИОННОЙ ПАЙКИ

The stresses which are arisen with cooling of a two-ply bar have been defined. The bar is manufactured by brazing the carbide bar and steel substrate to produce the carbide tipped knives for woodworking. The problem has been solved for free cooling and cooling in a fixture.

Рассмотрим многослойную пластину, в слоях которой может меняться температура. Направим ось перпендикулярно плоскости пластины. Считая справедливой гипотезу плоских сечений и идеальную адгезионную связь между слоями, а слои выполненными из изотропного материала, можно при отсутствии внешних сил записать деформацию произвольного слоя в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_i &= \epsilon_0 - \chi y - \alpha_i \Delta T_i; \\ \epsilon_i &= \sigma_i (1 - \mu_i) / E_i, \end{aligned} \right\}, \quad (I)$$

где ϵ_0 - деформация в начале координат; χ - кривизна;
 α_i - коэффициент линейного расширения i -го слоя; E_i, μ_i -
 модуль упругости и коэффициент поперечной деформации i -го
 слоя; ΔT_i - изменение температуры в i -ом слое ($\Delta T_i = \Delta T_i(y)$).

Из системы уравнений (1) найдем

$$\sigma_i = D_i (\epsilon_0 - \chi y - \alpha_i \Delta T_i), \quad (2)$$

где $D_i = E_i / (1 - \mu_i)$.

Запишем уравнения равновесия

$$\sum_{i=1}^n \int_{A_i} \sigma_i dA_i = 0, \quad \sum_{i=1}^n \int_{A_i} \sigma_i y dA_i = 0, \quad (3)$$

где A_i - площадь сечения, перпендикулярного к оси X ,
 i -го слоя единичной ширины ($A_i = h_i$).

Из уравнений (2) и (3) найдем

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_0 &= (K_p \sum_{i=1}^n D_i J_i - K_m \sum_{i=1}^n D_i S_i) / R; \\ \chi &= (K_p \sum_{i=1}^n D_i S_i - K_m \sum_{i=1}^n D_i A_i) / R, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $K_p = \sum_{i=1}^n \alpha_i D_i \int_{A_i} \Delta T_i dA_i$; $K_m = \sum_{i=1}^n \alpha_i D_i \int_{A_i} \Delta T_i y dA_i$;

$$R = \left(\sum_{i=1}^n D_i A_i \right) \left(\sum_{i=1}^n D_i J_i \right) - \left(\sum_{i=1}^n D_i S_i \right)^2;$$

$S_i = \int_{A_i} y dA_i$ - статический момент площади A_i относительно
 оси z ; $J_i = \int_{A_i} y^2 dA_i$ - момент инерции площади A_i относитель-
 но оси z .

Зная деформацию в начале координат ϵ_0 и кривизну пластин-
 ны χ , можно по формуле (2) определить напряжения в от-
 дельных слоях.

Если толщина слоев небольшая, то можно принять измене-
 ние температуры ΔT_i не зависящим от ординаты y .

Тогда

$$K_p = \sum_{i=1}^n \alpha_i D_i A_i \Delta T_i; \quad K_m = \sum_{i=1}^n \alpha_i D_i S_i \Delta T_i.$$

Полученные формулы могут быть использованы для опреде-
 ления напряжений и деформаций, возникающих при изготовлении
 биметаллической заготовки для режущего инструмента с твер-
 досплавными пластинами. При напайке твердосплавной пластины
 на подложку и дальнейшем свободном остывании будут возникать

температурные напряжения. Слой припоя можно не учитывать ввиду его очень малой толщины.

При пайке температура достигает 900°C и больше в зависимости от марки применяемого припоя. В процессе охлаждения, при достижении некоторой температуры, между твердым сплавом и стальной подложкой устанавливается устойчивая адгезионная связь, и слои начинают работать совместно. После этого при дальнейшем остывании в слоях будут появляться напряжения и деформации, которые определяются по формулам (2) и (4), если принять $n = 2$.

На рис. I, б показаны напряжения, возникающие в двухслойной пластине со следующими характеристиками слоев:

первый слой (подложка): $h_1 = 4$ мм, $\alpha_1 = 12 \cdot 10^{-6}$, $E_1 = 2 \cdot 10^{11}$ Па, $\mu_1 = 0,26$, $\sigma_{T1} = 350$ МПа, $\Delta T_1 = -280^{\circ}$;

второй слой (твердый сплав): $h_2 = 2$ мм, $\alpha_2 = 5,1 \cdot 10^{-6}$, $E_2 = 5,85 \cdot 10^{11}$ Па, $\mu_2 = 0,22$, $\sigma_{T2} = 500$ МПа, $\Delta T_2 = -280^{\circ}$.

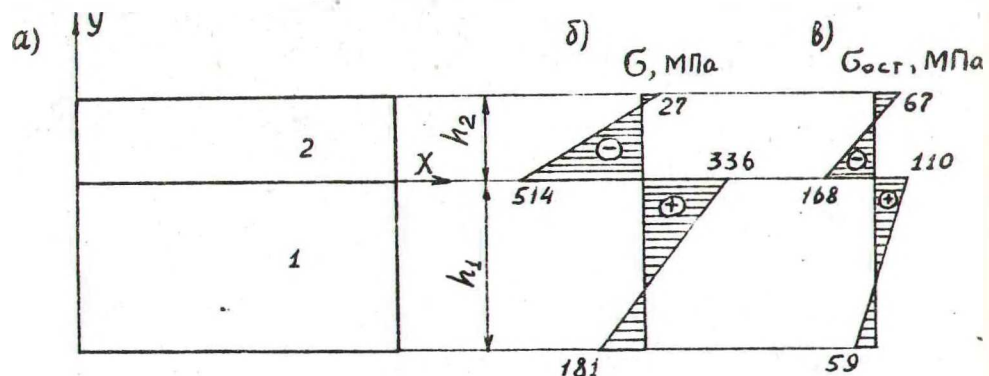


Рис. I. Распределение напряжений по толщине пластины

Как видно из рисунка, напряжения в слоях на их границе примерно равны пределам текучести σ_{T1} и σ_{T2} . Кривизна пластины при этом достигла $\chi = 0,479$ $1/\text{м}$.

Практически изменение температуры в пластинах будет больше. Текучесть при этом распространяется на значительную глубину и существенно увеличивается кривизна.

Чтобы уменьшить искривление двухслойной пластины, ее можно в процессе остывания при некоторой температуре зафиксировать (зажать) между двумя достаточно жесткими пластинами 3 и 4 (рис. 2).

После заневоливания слои I и 2 продолжают остывать, а температура слоев 3 и 4 меняется незначительно. Можно принять $\Delta T_1 = \Delta T_2$, а $\Delta T_3 = \Delta T_4 = 0$.

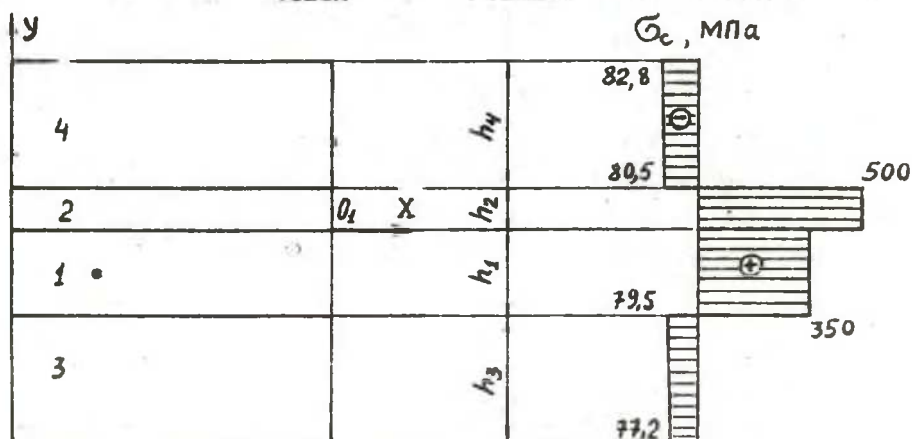


Рис.2. Четырехслойная конструкция с заневоленными слоями I и 2

Так как слои сжаты в направлении оси y , то при изменении температуры они будут работать совместно за счет трения между слоями. Напряжения и деформации, возникающие в слоях, определяются по тем же формулам (2) и (4). Если слои 3 и 4 значительно жестче, чем слои I и 2, то при небольшом изменении температуры в слоях I и 2 будут возникать большие напряжения, и при некотором изменении температуры ΔT_n в одном из слоев наступит текучесть. Так как обычно предел текучести σ_{T1} для подложки (слой I) меньше, чем предел текучести σ_{T2} для твердосплавной пластины (слой 2), то текучесть наступит раньше в слое I. Температура, при которой наступит текучесть в слое I, определится из условия

$$\sigma_1 (\epsilon_0 - \alpha_1 \Delta T_n) = \sigma_{T1}. \quad (5)$$

Так как напряжения в слоях в заневоленной конструкции меняются незначительно, можно принять, что текучесть наступит одновременно по всему слою I при одной и той же температуре ΔT_n .

При дальнейшем изменении температуры напряжения в слоях 2, 3, 4 будут расти, а в слое I напряжение будет оставаться

постоянным, равным σ_{T1} . Для определения напряжений в этом случае можно воспользоваться теми же формулами (2) и (4), но с некоторыми изменениями. При исключении K_p и K_m вместо $D_1, \alpha_1, \Delta T_1$ положить σ_{T1} со знаком (+) "плюс", если ΔT_1 положительное, т.е. температура растет; и со знаком "минус", если ΔT_1 отрицательное, т.е. температура уменьшается. При определении остальных величин следует положить $D_1 = 0$.

При некотором значении изменения температуры ΔT_c наступит текучесть и во втором слое. Для определения температуры ΔT_c необходимо напряжение во втором слое приравнять к пределу текучести σ_{T2} материала второго слоя.

$$D_2 (\epsilon_0 + \alpha_2 \Delta T_c) = \sigma_{T2}. \quad (6)$$

После определения ΔT_c можно определить деформацию в начале координат $\epsilon_0(c)$, кривизну χ_c и напряжения $\sigma_i(c)$ в слоях 3 и 4. На рис.2 показаны напряжения $\sigma_i(c)$ для четырехслойной пластины в случае, когда характеристики слоев 1 и 2 остаются теми же, что и на рис.1, а слои 3 и 4 имеют следующие характеристики: $h_3 = h_4 = 15$ мм, $E_3 = E_4 = 2 \cdot 10^{11}$ Па, $\mu_3 = \mu_4 = 0,26$.

При этом $\Delta T_n = 129^\circ$, $\Delta T_c = 189^\circ$, $\epsilon_0(c) = -2,97 \cdot 10^{-4}$, $\chi_c = 5,74 \cdot 10^{-4}$ 1/м. Так как температура в слоях 3 и 4 не меняется, а в слоях 1 и 2 наступила текучесть, то при дальнейшем изменении температуры деформации и напряжения меняться не будут.

После полного остывания слои 1 и 2 соединены пайкой и их можно освободить от слоев 3 и 4. Удаление слоев 3 и 4 эквивалентно приложению к оставшейся двухслойной конструкции сил, соответствующих в удаленных слоях [1]. Если эти напряжения привести к точке O , пересечения оси X с сечением пластины (рис.2), то они сведутся к продольной силе $N = -2400$ Н и изгибающему моменту $M = -1,8$ Н м. Такие же силовые факторы будут действовать в сечении, перпендикулярном оси Z .

Напряжения от M и N определятся по формуле (2) с учетом того, что $\Delta T_i = 0$, т.е.

$$\sigma_i^* = D_i (\epsilon_0^* - \chi^* y). \quad (7)$$

Для определения ϵ_0^* и χ^* запишем уравнения статистики

$$\sum_{i=1}^n \int_{A_i} \sigma_i^* dA_i = N; \quad \sum_{i=1}^n \int_{A_i} \sigma_i^* \cdot y \cdot dA_i = M. \quad (8)$$

Из уравнений (7) и (8) найдем

$$\epsilon_0^* = (M \sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot S_i + N \sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot J_i) / R; \quad \chi^* = (M \sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot A_i + N \sum_{i=1}^n \sigma_i \cdot S_i) / R. \quad (9)$$

Для рассматриваемой двухслойной пластины получим

$$\epsilon_0^* = -8,9 \cdot 10^{-4}; \quad \chi^* = -0,1561/\mu.$$

Остаточные напряжения и деформации в конструкции, состоящей из подложки и твердосплавной пластины, получим суммированием

$$\sigma_{i(ост)} = \sigma_{i(c)} + \sigma_i^*; \quad \chi_{ост} = \chi_c + \chi^*.$$

Остаточные напряжения показаны на рис. I в.

Остаточная кривизна пластины $\chi_{ост} = -1560^{-4} + 5,74 \cdot 10^{-4} = -0,1554 1/\mu$.

Таким образом, при заневоливании пластина искривляется значительно меньше, чем при свободном остывании. Из рис. I видно, что остаточные напряжения при заневоливании также существенно меньше, чем при свободном остывании. Кроме того, при изменении температуры на величину ΔT_c они не зависят от дальнейшего изменения температуры.

Полученные решения позволяют подобрать соотношения между толщинами слоев, при которых будут возникать наименьшие остаточные деформации и напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биргер И. А. Остаточные напряжения. - М.: Машгиз, 1963.