

Ф. С. Мартинович

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МЕХАНИКИ УПЛОТНЕНИЯ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Прессование измельченной древесины — сложный и многообразный процесс упруго-пластического деформирования огромного числа частиц, при котором их относительное расположение и упругое взаимодействие непрерывно изменяются.

Структура, которую представляет собой измельченная древесина, находящаяся в пресс-форме, отличается от структуры цельной древесины. Благодаря хаотическому расположению частиц в пресс-форме такая структура более однородна, и ее однородность тем больше, чем меньше размер отдельных частиц, хотя каждая отдельно взятая частица сохраняет анизотропность строения, присущую цельной древесине.

При уплотнении под действием приложенной силы структура изменяется как за счет перегруппировки и сближения частиц, так и за счет пластического деформирования их на площадках взаимного контакта.

При значительных напряжениях сжатия в результате сближения частиц и роста фактической площади их контакта начинают проявляться силы сцепления между частицами; частицы уплотняются и упрочняются за счет пластической деформации сжатия, которая при некотором критическом значении напряжения охватывает всю частицу.

Один из наиболее важных вопросов процесса уплотнения — это выяснение количественной зависимости плотности измельченной древесины от давления прессования, так как она в конечном итоге служит математическим отображением динамики процесса прессования.

Характерной особенностью процесса прессования измельченной древесины и других органических материалов является его большая зависимость от влажности.

Однако при прессовании измельченной древесины с содержанием влаги не более 12—13% структуру измельченной древесины можно рассматривать как двухфазную систему, состоящую из твердой и газообразной фаз. При указанном влагосодержании адсорбционная вода, находящаяся в древесине в моно- и полимолекуляр-

ных слоях, связана с древесным веществом физико-химической связью и не может быть выдавлена механически.

В связи с этим необходимо учитывать, что максимальная плотность прессованных изделий из измельченной древесины всегда меньше плотности древесного вещества вследствие неодинаковой плотности воды и древесного вещества.

Расчеты показали, что плотность измельченной древесины связана с ее пористостью, влажностью и плотностью древесного вещества уравнением

$$\gamma_w = \frac{(1 - C_w)(1 + W)\delta}{1 + \delta_e W}, \quad (1)$$

где γ — плотность измельченной древесины данной влажности;
 C_w — относительная пористость измельченной древесины, представляющая отношение объема пор, включая и структурные пустоты, ко всему объему, занимаемому измельченной древесиной;
 W — влажность измельченной древесины (в долях);
 δ — плотность древесного вещества.

При максимальном уплотнении измельченной древесины данной влажности, т. е. при полном удалении из нее воздуха, максимальная плотность изделия будет

$$\gamma_{w \max} = \frac{\delta(1 + W)}{1 + \delta \cdot W}, \quad (2)$$

а если и влажность измельченной древесины равна нулю, тогда

$$\gamma_{0 \max} = \delta, \quad (3)$$

т. е. уплотнение измельченной древесины до плотности древесного вещества возможно лишь в случае полного отсутствия влаги в прессматериале (деформацию древесного вещества ввиду малости коэффициента сжатия твердых тел не принимаем во внимание).

Относительная деформация сжатия измельченной древесины данной влажности, или относительная степень ее уплотнения, выражается уравнением

$$\varepsilon_w = 1 - \frac{\gamma_{0w}(1 + \delta W)}{\delta(1 + W)(1 - C_w)}, \quad (4)$$

где ε_w — относительная деформация измельченной древесины;
 γ_{0w} — первоначальная плотность измельченной древесины данной влажности или ее насыпной вес.

При полном удалении воздуха из древесины, т. е. при $C_w = 0$,

$$\varepsilon_{w \max} = 1 - \frac{\gamma_{0w}(1 + \delta \cdot W)}{\delta(1 + W)} = C_{0w}, \quad (5)$$

где C_{0w} — первоначальная относительная пористость измельченной древесины данной влажности.

В случае, когда и $W=0$, получим

$$\varepsilon_{0 \max} = 1 - \frac{V_0}{V} = C_0, \quad (6)$$

т. е. максимально возможная степень уплотнения измельченной древесины численно равна относительной пористости исходного прессматериала.

Древесина представляет собой упруго-вязкий материал, поэтому деформацию ее, как это впервые было показано Ю. М. Ивановым, можно рассматривать как деформацию упруго-вязкого тела. Общая деформация такого материала при сжатии складывается из упругой и пластической. Соотношение между величинами упругой и пластической деформаций и определяет характер зависимости деформация — напряжение при уплотнении измельченной древесины.

Ввиду сложности явлений, протекающих при прессовании измельченной древесины, при выводе уравнения уплотнения была использована расчетная математическая модель, согласно которой уплотнение измельченной древесины рассматривалось как процесс упруго-пластического деформирования некоторого условного сплошного тела, состоящего из древесных частиц и связанной с ними сорбционной влаги. Эта условная модель имеет высоту, равную высоте слоя измельченной древесины, засыпанной свободно в пресс-форму, и площадь поперечного сечения, равную истинной площади сечения оболочек клеток и связанной с ними сорбционной влаги.

В процессе сжатия такого условного сплошного тела уменьшается его высота и увеличивается площадь поперечного сечения, причем деформация тела носит упруго-пластический характер. Количественно это соответствует процессу сжатия измельченной древесины в пресс-форме.

Так как по сравнению с условным компактным телом частицы древесины, находящиеся под давлением в пресс-форме, имеют значительно меньшую величину взаимного контакта, то вся структура прессовки в целом обладает большей свободой деформации и меньшей жесткостью, т. е. имеет меньшую величину модуля упругости

$$E_z \ll E, \quad (7)$$

где E_z — модуль упругости измельченной древесины, находящейся в пресс-форме под давлением;

E — модуль упругости максимально уплотненной древесины.

Количественно взаимосвязь между E_z и E может быть выражена, как показал анализ диаграмм сжатия измельченной древесины сосны, некоторой степенной функцией относительной фактической площади контакта частиц:

$$E_z = K \cdot E \cdot \alpha^n_{zw}, \quad (8)$$

где K — коэффициент пропорциональности, учитывающий физические свойства частиц измельченной древесины (породу, способ, характер и степень измельчения, исходную влажность и др.);

α_{zW} — относительная фактическая площадь контакта частиц представляющая отношение истинной площади поперечного сечения измельченной древесины в пресс-форме S_z к величине номинальной площади сечения S_n т. е. к площади пуансона.

Относительная фактическая площадь контакта частиц древесины через объемную характеристику измельченной древесины выражается уравнением

$$\alpha_{zW} = \frac{\gamma_{0W}(1 + \delta \cdot W)h_{0W}}{\delta(1 + W)h_W} \quad (9)$$

где h_{0W} — высота слоя измельченной древесины данной влажности, свободно засыпанной в пресс-форму;

h_W — высота слоя измельченной древесины, уплотненной давлением q_z .

Модуль упругости измельченной древесины, находящейся в пресс-форме под давлением q_z , численно равен тангенсу угла наклона касательной к кривой относительной деформации условного сплошного тела модели в рассматриваемой точке диаграммы сжатия и представляет отношение

$$E_z = \operatorname{tg} \beta = \frac{\sigma_{iz}}{\varepsilon_{yW}} = \frac{d\sigma_{iz}}{d\varepsilon_{zW}} = \frac{dq_z}{d\varepsilon_{zW} \alpha_{zW}} \quad (10)$$

где σ_{iz} — напряжение в поперечном сечении нашего условного сплошного тела модели или истинное напряжение, которое испытывают стенки клеток частиц древесины при давлении сжатия q_z ;

ε_{yW} — относительная упругая деформация сжатия измельченной древесины, численно равная относительной величине упругого последствия;

ε_{zW} — полная относительная деформация измельченной древесины данной влажности.

Подставляя в уравнение (8) значения величин E_z и α_{zW} и интегрируя его, получим уравнение деформации измельченной древесины, которое в окончательном виде приведено ниже:

$$q_z = q_n \frac{\left(\frac{h_{0W}}{h_W}\right)^n - 1}{\left[\frac{\delta(1+W)}{\gamma_{0W}(1+\delta \cdot W)}\right]^n - 1} \quad (11)$$

откуда

$$h_{\text{зи}} = h_{\text{OW}} \sqrt[n]{\frac{q_{\kappa}}{q_{\kappa} + \left\{ \left[\frac{\delta(1+W)}{\gamma_{\text{OW}}(1+\delta \cdot W)} \right]^n - 1 \right\} q_z}}, \quad (12)$$

где q_{κ} — критическая величина давления прессования, при которой достигается максимальная плотность измельченной древесины;

n — показатель степени.

Уравнение (11) можно представить и в другом виде, если отношение $\frac{h_{\text{OW}}}{h_{\text{W}}}$ выразить через величину относительной деформации измельченной древесины

$$q_z = q_{\kappa} \frac{\left(\frac{1}{1 - \varepsilon_{z\text{W}}} \right)^n - 1}{\left[\frac{\delta(1+W)}{\gamma_{\text{OW}}(1+\delta \cdot W)} \right]^n - 1}. \quad (13)$$

Величина средней плотности измельченной древесины данной влажности, находящейся в пресс-форме под давлением q_z , может быть представлена

$$\gamma_{\text{W}} = \frac{\gamma_{\text{OW}} h_{\text{OW}}}{h_{\text{W}}}. \quad (14)$$

Подставляя в формулу (14) значение h_{W} из формулы (12), получим

$$\gamma_{\text{W}} = \gamma_{\text{OW}} \sqrt[n]{1 + \left\{ \left[\frac{\delta(1+W)}{\gamma_{\text{OW}}(1+\delta \cdot W)} \right]^n - 1 \right\} \frac{q_z}{q_{\kappa}}}. \quad (15)$$

Уравнения (11), (12), (13) и (15) являются некоторыми гиперболическими функциями высшего порядка (при $n > 1,0$), отображающими количественные закономерности процесса уплотнения измельченной древесины в интервале давлений от $q_z = 0$ до $q_z = q_{\kappa}$.

Значения критического удельного давления прессования q_{κ} и показателя степени n определяются для конкретных условий (порода древесины, форма и размер частиц, режим уплотнения и др.) опытным путем, на основе обработки и анализа диаграмм сжатия измельченной древесины, записанных на испытательной машине.

Обработка и анализ диаграмм сжатия измельченной древесины сосны, полученных А. Н. Мининым на испытательной машине ИМ-4А, показали хорошее совпадение экспериментальных кривых с кривыми, построенными по уравнению (13), (рис. 1).

Это дает основание полагать, что уравнения, полученные при математическом исследовании процесса уплотнения измельченной

древесины, отражают с достаточной для практики точностью количественные взаимосвязи процесса прессования и могут использоваться для практических расчетов.

Как показали исследования, критическое давление прессования для условий, указанных на рис. 1 и 2, изменяется значительно. Так,

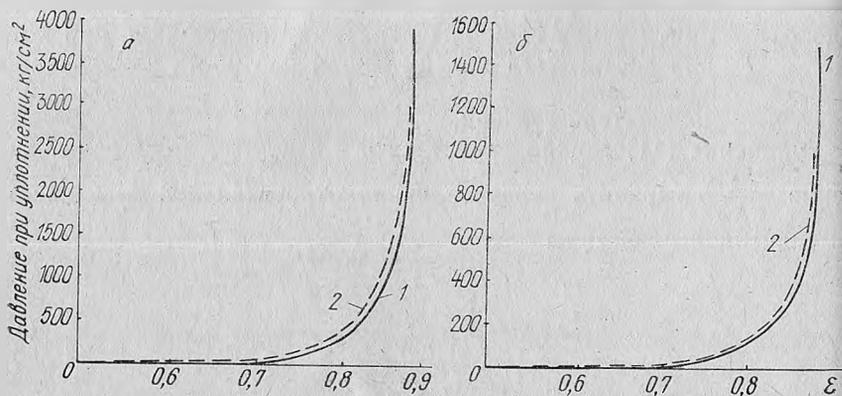


Рис. 1. Диаграмма уплотнения измельченной древесины сосны:
1 — опытная кривая; 2 — расчетная кривая, построенная по уравнению (13) при $n=4$
и $q_k=2600$ кг/см² (а) и 900 кг/см² (б) ($W=8\%$, $\gamma_{0W}=0,174$ г/см³, $t=20^\circ$ (а) и 180° (б),
 $\tau=0$ мин).

при уплотнении измельченной древесины сосны без нагрева критическое давление прессования составляет 2600 кг/см², а при температуре 180° — 900 кг/см². Показатель степени n в обоих случаях близок к 4 (в первом случае $n=4,03$, во втором — 4,13).

Для удобства практических расчетов при построении кривых на рис. 1 показатель степени n был принят равным 4.

Можно предположить, что и для других случаев прессования величина показателя степени n будет близка к 4.