

Рис. 2. Взаимосвязь предела прочности с предельной относительной деформацией при изгибе древесины

исчерпанию своего энергетического ресурса и т. п. Тот факт, что распределение предельных деформаций отличается асимметрией, позволяет предполагать, что в ряде случаев именно деформация крайних растянутых волокон определяла несущую способность образцов.

При изгибе картина напряжений и деформаций достаточно сложна. В сжатой зоне образца неупругие деформации возникают намного раньше, чем в растянутой. Опыты еще раз подтвердили значительное влияние плотности древесины. Можно считать, что несущая способность деревянных элементов определяется комплексом показателей, из которых первичными являются плотность древесины и наличие структурных неоднородностей типа сучков, косослоя и т. п., а вторичными, зависимыми от них, надо считать прочностные и деформационные свойства данных элементов. Взаимосвязь всех показателей на эмпирическом уровне изучена сравнительно хорошо, за исключением, пожалуй, предельных деформаций. Приведенные выше опытные данные можно рассматривать как некоторую дополнительную информацию к рассматриваемой проблеме.

показали предельные, деформации существенно выше средней величины. Эти образцы отличаются от прочих очень высокой плотностью древесины (более 700 кг/м<sup>3</sup> при средней плотности 510 кг/м<sup>3</sup>) и могут быть исключены из статистической совокупности.

3. Взаимосвязь между показателями прочности и предельной деформации умеренная: для всех образцов коэффициент корреляции составил  $0,700 \pm 0,047$ , а для чистых бездефектных образцов — только  $0,496 \pm 0,075$ .

Полученные результаты по предельным деформациям при изгибе могут оказаться полезными в объяснении механизма разрушения древесины. Согласно существующим представлениям, твердое тело может разрушаться при достижении некоторого предельного (для данного образца) напряжения или некоторой пороговой величины деформации, или при

УДК 648.59 : 667.644 : 681

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ЖИДКОГО СЛОЯ ЛАКОКРАСОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ДВИЖУЩУЮСЯ ПОДЛОЖКУ

В. И. ОНЕГИН, В. А. ЕГОРОВ, В. С. ҚАРИМОВ

Ленинградская лесотехническая академия

Перевод мебельной промышленности на интенсивный путь развития неразрывно связан с разработкой математических моделей объектов управления для применения вычислительной техники в управление технологическими процессами.

В данной работе математически описан технологический процесс лаконоалыва на движущуюся подложку.

При истечении лакокрасочного материала (ЛКМ) из лаконоаливной головки образуется лаковая завеса с расходом

$$Q = \rho \int_{\Omega} u d\omega. \quad (1)$$

При встрече с движущейся подложкой часть лакокрасочного материала увлекается, продолжая двигаться в попутном направлении, образуя жидкий адгезированный слой. Другая часть движется в противоположном направлении, образуя противоток.

Величина зоны противотока зависит от скорости движения подложки, секундного расхода лака при истечении и его физико-механических свойств.

Запишем уравнение движения и неразрывности потока

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + F_x + \frac{1}{\rho} \sum_{i=1}^n f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (3)$$

Сделаем ряд допущений. Полагаем движение квазистационарным и плоскопараллельным, инерционным эффектом пренебрегаем, а также считаем, что лакокрасочный материал подчиняется закону Шведова — Бингама:

$$\tau = \mu \frac{\partial u}{\partial y} + \tau_0 \left( \operatorname{sgn} \frac{\partial u}{\partial y} \right). \quad (4)$$

Градиент давления в ветви противотока равен

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\sigma_{ж.г}}{xl} + \frac{\partial R}{\partial x} + \sigma_{ж.г} \frac{\partial^3 h}{\partial x^3}; \quad (5)$$

для увлекаемого слоя кривизной поверхности пренебрегаем, т. е.

$$\frac{\partial^3 h}{\partial x^3} = 0.$$

Внешнюю силу  $f$ , действующую на единицу объема, будем рассматривать как движущую силу растекания только для ветви противотока, так как для попутного направления несмоченные участки отсутствуют:

$$f = -\frac{1}{v} \frac{\partial L}{\partial x} \quad (6)$$

или

$$f = \frac{S - \sigma_{ж.г}}{xh}, \quad (7)$$

где  $L$  — изменение свободной поверхностной энергии системы объемом  $v$ , плотностью  $\rho$ ;

$\tau_0$  — предельное напряжение сдвига жидкости с удельной поверхностной энергией  $\sigma_{ж.г}$ ;

$S$  — коэффициент растекания;

$R$  — избыточное давление в системе;

$U_{п}$  — скорость движения подложки.

Принимая во внимание сделанные допущения, перепишем уравнение (3) с учетом (5) — (7):

$$\frac{\partial \tau}{\partial y} = \frac{\partial R}{\partial x} + \frac{S}{xh} - \sigma \frac{\partial^3 h}{\partial x^3}. \quad (8)$$

Интегрируя (8) по  $y$  при  $\tau|_{y=h} = 0$  и учитывая выражение (4), получим распределение касательных напряжений по сечению:

$$\tau(y) = \left( \frac{\partial R}{\partial x} + \frac{S}{xh} - \sigma_{ж.г} \frac{\partial^3 h}{\partial x^3} \right) (y - h) + \tau_0 + \mu \frac{\partial u}{\partial y}. \quad (9)$$

отсюда зона вязкопластического течения

$$\delta = h - \frac{\tau_0}{\sigma_{ж.г} \frac{\partial^3 h}{\partial x^3} - \frac{\partial R}{\partial x} - \frac{S}{xh}}. \quad (10)$$

Интегрирование уравнения (9) позволяет определить распределение скоростей по сечению в ветви противотока:

для вязкопластической зоны

$$U_2(y) = \frac{1}{2\mu} \left( \frac{\partial R}{\partial x} + \frac{S}{xh} - \sigma_{ж.г} \frac{\partial^3 h}{\partial x^3} \right) (y^2 - 2hy) - \frac{\tau_0}{\mu} y - U_{п}; \quad (11)$$

для квазитвердой зоны

$$U_2(\delta) = \frac{1}{2\mu} \left( \frac{\partial R}{\partial x} + \frac{S}{xh} - \sigma_{ж.г} \frac{\partial^3 h}{\partial x^3} \right) (\delta^2 - 2h\delta) - \frac{\tau_0}{\mu} \delta - U_{п}. \quad (12)$$

Величина расхода ЛКМ в ветви противотока

$$Q_2 = \int_0^{\delta} U_2(y) dy + \int_{\delta}^h U_2(\delta) dy; \quad (13)$$

$$Q_2 = \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial R}{\partial x} + \frac{S}{xh} - \sigma_{ж.г} \frac{\partial^3 h}{\partial x^3} \right) \left( h\delta^2 - \frac{\delta^3}{3} + h^2\delta \right) + \frac{\tau_0}{\mu} \left( \delta h - \frac{\delta^2}{2} \right) - U_{пн}h. \quad (14)$$

Аналогичные выражения получим и для увлекаемого ЛКМ

$$Q_1 = \frac{1}{\mu} \left( \frac{\partial R}{\partial x} + \frac{\sigma_{ж.г}}{xh} \right) \left( h\delta^2 - \frac{\delta^3}{3} + h^2\delta \right) + \frac{\tau_0}{\mu} \left( \delta h - \frac{\sigma^2}{2} \right) + U_{пн}h. \quad (15)$$

Полученные соотношения представляют математическую модель формирования жидкого адгезированного слоя ЛКМ на движущуюся подложку и могут быть использованы для управления и оптимизации данного технологического процесса.

УДК 621.643.03 : 620.17

## О ПРИЧИНАХ РАЗРУШЕНИЯ СВАРНЫХ ШВОВ КОЛЛЕКТОРА ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЯ КОТЛА

Ю. К. ОПЯКИН, В. М. АЛЕКСАНДРОВ

Архангельский лесотехнический институт

Комплексное использование древесины сопровождается крупными затратами тепловой и электрической энергии. Улучшение качества электроснабжения — важная задача, решение которой в значительной степени зависит от безаварийной работы энергетического оборудования.

Исследование причин разрушений отдельных узлов и деталей оборудования способствует решению этого вопроса.

В частности, на одной из ТЭЦ на котлах ТМ-84Б были обнаружены трещины в сварных швах приварки пароперепускных труб диаметром  $133 \times 13$  мм к коллекторам конвективного пароперегревателя диаметром  $219 \times 32$  мм, изготовленных из стали 12Х1МФ. Как показал микроскопический анализ, трещины глубоко уходят в тело коллектора. Максимальная протяженность трещин 150 мм при глубине до 14 мм.

Характер развития трещин и результаты выборки дефектов в металле одного из коллекторов в местах приварки штуцеров представлены на рис. 1. Твердость металла шва находится на уровне 160...190 НВ, а твердость основного металла коллектора — 135...137 НВ (рис. 2, табл. 1).

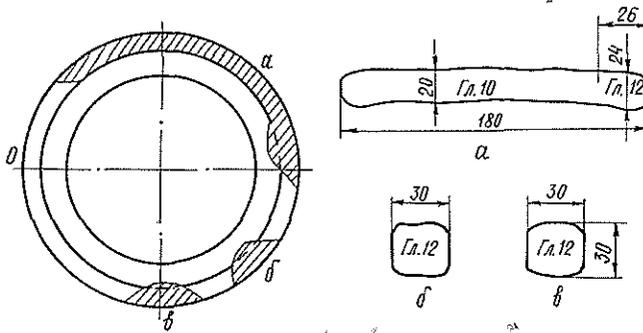


Рис. 1. Выборка металла сварного шва штуцера коллектора

Магистральные трещины развиваются снаружи и по мере распространения их вглубь рельеф излома становится более грубым.

Микроскопический анализ показал, что от магистральной трещины вдоль границ зерен расходятся множество микротрещин и микроразрывов аналогичного характера, заполненных окислами.

В зависимости от конфигурации труб и их ориентации в пространстве трещины расположены как с передней, так и с задней сторон коллекторов. Для количественных оценок напряжений выполнены расчеты напряженного состояния, перемещений отдельных сечений в результате температурных расширений труб и нагрузок на сварные швы в месте приварки штуцера к коллектору конвективного пароперегревателя по программе АСТРА для ЭВМ ЕС.

В программе полностью реализованы требования РТМ 24.038.08—72 по расчету трубопроводов энергетических установок на прочность.

Рис. 2. Срез участка сварного шва в районе трещины: арабскими цифрами обозначены точки замера твердости; римскими — сечения для микроскопического анализа металла

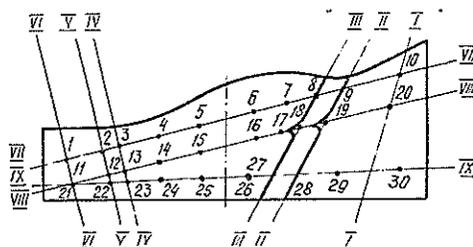


Таблица 1

Результаты испытаний на твердость сварного шва коллектора конвективного пароперегревателя (материал 12Х1МФ)

Точки замера твердости	Размер, мм	НВ	Точки замера твердости	Размер, мм	НВ	Точки замера твердости	Размер, мм	НВ
1	133 × 12	147	11	219 × 26	144	21	219 × 26	144
2	219 × 26	139	12	219 × 26	144	22	219 × 26	147
3	219 × 26	159	13	219 × 26	190	23	219 × 26	185
4	219 × 26	185	14	219 × 26	185	24	219 × 26	185
5	219 × 26	176	15	219 × 26	169	25	219 × 26	185
6	219 × 26	185	16	219 × 26	172	26	219 × 26	185
7	219 × 26	185	17	219 × 26	169	27	219 × 26	180
8	219 × 26	172	18	219 × 26	153	28	219 × 26	147
9	219 × 26	133	19	219 × 26	141	29	219 × 26	137
10	219 × 26	135	20	219 × 26	135	30	219 × 26	137

Таблица 2

Результаты расчета пароперепускной трубы на совместное действие всех нагружающих факторов для рабочего состояния

Номер сечения	Эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{э}}$ , МПа	
	без учета овальности	с учетом овальности
0	140,8	
1	84,6	
2	98,5/76,6	123,9
3	124,6	
4	164,3/100,8	107,1
5	77,2	
6	132,8/123,7	168,6
7	165,4	

Примечание. В числителе указаны напряжения в среднем сечениигиба, в знаменателе — в концецеом;  $\sigma_{\text{доп}}^{\text{э}} = 109,5$  МПа для прямых труб;  $\sigma_{\text{доп}}^{\text{э}} = 182,5$  МПа для гибов; расчетные эквивалентные напряжения в сечениях 0,7 — соединение пароперепускной трубы с коллектором — превышают допустимые.

В результате проведенного исследования установлено, что причина разрушения сварных швов конвективного пароперегревателя котла ТМ-84Б — повышенные напряжения компенсации температурных расширений пароперепускных труб под влиянием коррозионной среды.

Анализ результатов расчетов на совместное действие всех нагружающих факторов для рабочего состояния (внутреннее давление среды, весовая нагрузка, температурные расширения) выявил зоны повышенных напряжений в начальных и конечных сечениях всех труб в месте приварки штуцера к коллектору конвективного пароперегревателя (табл. 2). Приведенные данные свидетельствуют о том, что одна из причин разрушений — высокий уровень компенсационных напряжений (максимальные эквивалентные напряжения 165,4 МПа без учета овальности и 168,6 МПа с учетом овальности), обусловленный отсутствием свободы перемещений коллекторов при температурных расширениях труб и концентрации напряжений в местах приварки штуцера к коллектору.

Кроме того, по нашему мнению, дополнительный фактор в развитии зародившихся трещин — коррозионная среда. Влияние коррозионной среды под напряжением способствует слиянию микронадрывов и микротрещин, которые объединяются и приводят к образованию магистральных трещин.

Эффект адсорбционного понижения прочности металла шва обусловлен прежде всего тем, что коррозионное влияние среды понижает поверхностную энергию металла и способствует зарождению пластических сдвигов.