

Таким образом, регулируя с помощью химического состава, режимов предшествующей, деформационной и последеформационной обработки фазовые превращения в ледебуритных чугунах, можно управлять их структурным состоянием и кардинально изменять свойства этих материалов в довольно широких границах, изменяя количество карбидов и графита.

Выводы.

1. Изучено влияние предварительной пластической деформации на формирование структуры в ванадийсодержащих белых чугунах с повышенным содержанием кремния. Установлено, что в деформированном состоянии в процессе последующего отжига при температурах ниже T_p^H цементит растворяется с образованием графита и карбидов ванадия. При более высоких температурах (T_p^H) в цементите происходит рекристаллизация, которая тормозит его растворение и графитизацию.

2. Структура исследуемого чугуна после деформации и графитизирующего отжига, состоящая из мелких карбидов ванадия и графитных включений, окруженных твердорастворной матрицей, обеспечивает повышенную пластичность и прочность изделий.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.Н. Таран, Э.В. Пирогова, Т.М. Миронова. Деформация и рекристаллизация цементита в чугунах, легированных ванадием. В сб. «Проблемы металлургического производства». Выпуск 101. – Киев. «Техника». – 1990. – С. 126-129.

УДК 624.011

РОЗРАХУНКОВА УМОВА МІЦНОСТІ КЛЕЄНОЇ ДЕРЕВИНИ ПРИ ОСЬОВИХ НАПРУЖЕННЯХ РОЗТЯГУ І СКЛАДНОМУ НАПРУЖЕНОМУ СТАНІ

ст. викладач Д.В. Михайловський

Київський національний університет будівництва і архітектури

Досвід впровадження деяких конструкцій з клеєної деревини (криволінійних балок, гнукклеєних рам) і наукові дослідження цих конструкцій і нових вузлових з'єднань (на зубчастий шип, на похило вклеваних стержнях) в останній чверті минулого століття свідчили про те, що діючі на той час і чинні досі норми проектування не адекватно відображають напружений стан цих конструкцій і вузлових з'єднань. Вже в 1982 р. в роботі [1], написаній провідними фахівцями ЦНДІБК (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко), як недолік відмічена відсутність в нормах методики розрахунку конструкцій при складному напруженому стані клеєної деревини з урахуванням анізотропії її фізико-механічних властивостей. Методика передбачає врахування спільної дії різних напружень, коли може скластися їх несприятливе сполучення і міцність анізотропного матеріалу буде вичерпана раніше (навіть часто, значно раніше), ніж міцність при досягненні окремих напружень у відповідних перерізах границь міцності матеріалу при дії сепаратних напружень: згинальних, нормальних вздовж, впоперек волокон, дотичних.

В [1] для врахування складного напруженого стану (СНС) пропонувалась наступна умова міцності:

$$\frac{\sigma_x}{R_{x,\delta\delta}} + \frac{\sigma_y}{R_{y,\delta\delta}} + \frac{\tau_{xy}}{R_{xy,\delta\delta}} \leq 1. \tag{1}$$

За три роки до цього був виданий переклад «Wood HANDBOOK» [2], в якому міститься умова міцності у вигляді (формулу наведено в звичних для нас позначеннях):

$$\left(\frac{\sigma_{\alpha\alpha}}{R_{\alpha\alpha}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{R_{\tau\epsilon}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{90}}{R_{90}}\right)^2 \leq 1, \tag{2}$$

яка має назву критерій Норриса.

Виходячи з зовнішнього вигляду критерію (2), можна припустити, що його отримано з енергетичної теорії міцності. Але в ньому немає ознак врахування анізотропії механічних властивостей матеріалу. Також з припущенням це можна пояснити призначенням критерію Норриса. Він в [2] пропонується для перевірки міцності клеєної деревини в зоні скатів двоскатних балок при визначенні складових тензора СНС за формулами:

- згинальних крайових напружень $\sigma_{\alpha\alpha} = \frac{M}{W}$;
- дотичних напружень $\tau = \sigma_{\alpha\alpha} \cdot tg\alpha$;
- напружень впоперек волокон $\sigma_{90} = \sigma_{\alpha\alpha} \cdot (tg\alpha)^2$.

В такому окремому випадку, коли складові тензора СНС τ і σ_{90} знаходяться безпосередньо як наслідок функції від $\sigma_{\alpha\alpha}$, анізотропія враховується автоматично. Критерій (2) отримав застосування й пройшов перевірку в проектній практиці США. Однак в [2] немає вказівок про можливе поширення цього критерію на інші випадки СНС клеєної деревини, коли складові тензору напруженого стану при різних комбінаціях напружень (при σ_{α} або σ_{β} напруження τ і $\sigma_{90,\alpha}$ чи $\sigma_{90,\beta}$) знаходяться по відповідним формулам опору матеріалів. Наприклад, для розрахунку увігнутих чи випуклих балок, арок, криволінійних карнизних вузлів рам, в зоні позacentрового стикування панелей верхніх поясів ферм і трикутних розпірних систем. В 80-х роках минулого сторіччя проф. Кліменко В.З. [4] запропонував критерій міцності для деревини, як анізотропного матеріалу, на основі енергетичної теорії міцності Генки-Мизеса. Однак цей критерій не набув розповсюдження в проектній практиці. В нещодавній статті проф. П.А. Дмитрисва [3] критерій Норриса пропонується для перевірки міцності клеєної деревини в зоні позacentрованих вузлів, тобто там, де немає прямої кореляції між місцевими напруженнями τ і σ_{90} від напружень зминання в торцях вздовж волокон. Здається, що для подібних випадків СНС умова міцності у вигляді критерію (2) може бути застосована при врахуванні в ній анізотропії фізико-механічних властивостей матеріалу для чого краще підійшов би критерій міцності, виведений проф. Кліменко В.З.

Автором зроблено уточнення умови міцності, отриманої проф. В.З. Кліменко [4]. Користуючись значеннями фізико-механічних

характеристик деревини $E_x = E_a = 16\,600$ МПа; $E_y = E_t = 582$ МПа; $G_{xy} = G_{at} = 690$ МПа; $\nu_{yx} = \nu_{at} = 0,015$; $\nu_{yz} = \nu_{tr} = 0,31$; $\nu_{xy} = \nu_{at} = 0,51$; $\nu_{xz} = \nu_{ar} = 0,42$ (прийнятими за [5]) в напрямках структурної симетрії і з заміною нормативного опору R_o^i в складових умови міцності з напруженнями τ і σ_{90} на відповідні нормативні опори $R_{\bar{n}e}^i$ і R_{90}^i отримаємо:

$$\left(\frac{\sigma}{R_o^i}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{R_{ce}^i}\right)^2 \cdot (n_2)^2 \cdot 25,87 + \left(\frac{\sigma_{90}}{R_{90}^i}\right)^2 \cdot (n_1)^2 \cdot 9,97 \leq 1, \quad (4)$$

в якій n_1, n_2 - співвідношення нормативних опорів:

$$n_1 = R_{90}^i / R_t^i; n_2 = R_{ce}^i / R_t^i.$$

З заміною нормативних опорів на розрахункові умова міцності (4) перетворюється на розрахункову умову несучої здатності деревини при СНС (5)

$$\left(\frac{\sigma}{R_o}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{R_{ce}}\right)^2 \cdot A + \left(\frac{\sigma_{90}}{R_{90}}\right)^2 \cdot B \leq 1, \quad (5)$$

в якій: σ – напруження згину в розтягнутій чи стиснутій зоні поперечного перерізу елемента, чи осьові напруження розтягу або стиску;

R_o – відповідні вказаним напруженням розрахункові опори матеріалу;

τ, R_{ce} – дотичні напруження і розрахунковий опір зколюванню вздовж волокон;

σ_{90}, R_{90} – поперечні напруження розтягу чи стиску впоперек волокон і відповідні опори матеріалу;

A, B – коефіцієнти, які враховують анізотропію фізико-механічних властивостей деревини і співвідношення нормативних опорів матеріалу.

Умова несучої здатності (5) охоплює можливі на практиці сполучення окремих напружень при СНС й надає можливість встановити наявність небезпечного місця, в якому ця умова не виконується. Така перевірка пропонується на додаток до розрахунку перерізів, в яких діють окремо максимальні напруження чи σ , чи τ , чи σ_{90} . В умові несучої здатності (5) окремі напруження знаходяться за розрахунковими формулами опору матеріалів, які наведені в діючих нормах проектування.

Визначимо значення коефіцієнтів A і B для різних комбінацій напружень використавши умову (4) та замінивши нормативні опори на розрахункові.

Для комбінації напружень стиску вздовж волокон, дотичних та напружень стиску впоперек волокон ($\sigma_c, \tau, \sigma_{\bar{n},90}$) - $A = 0,5, B = 0,148$. Для комбінації напружень стиску вздовж волокон, дотичних та напружень розтягу впоперек волокон ($\sigma_c, \tau, \sigma_{\delta,90}$) - $A = 0,5, B = 0,391$. Для комбінації

напружень розтягу вздовж волокон, дотичних та напружень стиску впоперек волокон ($\sigma_\delta, \tau, \sigma_{\bar{n},90}$) - $A = 1,174, B = 0,349$. Для комбінації напружень розтягу вздовж волокон, дотичних та напружень розтягу впоперек волокон $\sigma_\delta, \tau, \sigma_{\delta,90}$ - $A = 1,174, B = 0,92$.

Напруження $\sigma, \tau, \sigma_{90}$ одночасно в одному місці не можуть сягати розрахункових опорів матеріалу. Наявність напруження σ не дозволяє діяти максимальним розрахунковим двом іншим напруженням. Кількісна міра зниження цих напружень залежить від значення коефіцієнтів A та B .

Встановити значення коефіцієнтів A та B можна скориставшись геометричною інтерпретацією умови (5) в просторі напружень у вигляді поверхні несучої здатності, яка являє собою поверхню в просторі напружень якщо по осях x, y, z відкласти відповідно розрахункові опори матеріалу: стиску і розтягу вздовж та впоперек волокон, сколювання.

Відповідно евристичному принципу поверхня несучої здатності матеріалу при СНС буде випуклою. Будь який вектор, що виходить з центру координат і характеризує СНС матеріалу в кожному з чотирьох октантів поверхні перетинає її тільки один раз.

В статті дається методика визначення коефіцієнтів A та B тільки для однієї, найбільш небезпечної комбінації напружень: $\sigma_\delta, \tau, \sigma_{\delta,90}$, для клеєної деревини 2-го сорту. На рис. 1 показана поверхня несучої здатності матеріалу при $R_{t,\bar{n}} = 13$ МПа, $R_{t,\delta} = 9$ МПа, $R_{\bar{n}e} = 1,5$ МПа, $R_{\bar{n},90} = 1,8$ МПа, $R_{\delta,90} = 0,3$ МПа.

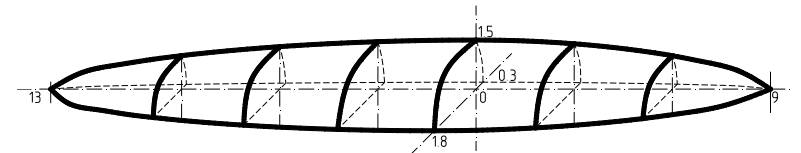


Рис. 1 Поверхня несучої здатності деревини 2-го сорту

Аналіз значень отриманих напружень при початковому напруженні розтягу вздовж волокон ($\sigma = 0$ і $\bar{\Gamma}$) знятих з поверхні несучої здатності свідчить, що значення коефіцієнтів A і B в цьому випадку повинно становити 1. Виходячи з таких міркувань робимо припущення про зміну співвідношення між коефіцієнтами A і B в залежності від рівня нормальних напружень вздовж волокон.

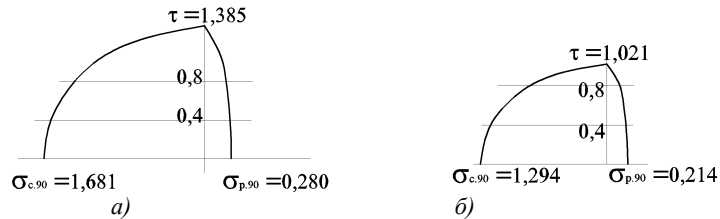


Рис. 2 Сліди з поверхні несучої здатності, що відповідають початковим напруженням розтягу а) – 3 МПа; б) – 6 МПа

На рис. 2 показані сліди, що відповідають початковим напруженням розтягу вздовж волокон 3 та 6 МПа. На них взято декілька довільних точок, що лежать на поверхні несучої здатності, для яких повинна виконуватись умова (5).

Підставивши зняті з слідів значення в умову (5) отримаємо наступні системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{aligned} &\left(\frac{3}{9}\right)^2 + \left(\frac{0,4}{1,5}\right)^2 \cdot A + \left(\frac{0,268}{0,3}\right)^2 \cdot B \leq 1 \\ &\left(\frac{3}{9}\right)^2 + \left(\frac{0,8}{1,5}\right)^2 \cdot A + \left(\frac{0,228}{0,3}\right)^2 \cdot B \leq 1 \end{aligned} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{aligned} &\left(\frac{6}{9}\right)^2 + \left(\frac{0,4}{1,5}\right)^2 \cdot A + \left(\frac{0,195}{0,3}\right)^2 \cdot B \leq 1 \\ &\left(\frac{6}{9}\right)^2 + \left(\frac{0,8}{1,5}\right)^2 \cdot A + \left(\frac{0,133}{0,3}\right)^2 \cdot B \leq 1 \end{aligned} \right. \quad (7)$$

Розв'язавши системи рівнянь (6) та (7) отримали значення коефіцієнтів *A* та *B* для двох випадків початкових напружень. При нормальних напруженнях розтягу вздовж волокон: 1) $\sigma_{\delta} = 3$ МПа - $A = 1,048$ і $B = 1,026$; 2) $\sigma_{\delta} = 6$ МПа - $A = 1,209$ і $B = 1,101$.

За цим принципом із застосуванням евристичного прийому було проведено аналіз слідів знятих з поверхні несучої здатності з кроком 1 МПа. В кожному такому перерізі було взято по чотири точки що відповідають різним комбінаціям напружень (τ і $\sigma_{\delta,90}$) при визначеному початковому напруженні (σ_{δ}). За отриманими результатами досліджень побудовано графік (рис. 3) та складено таблицю 1.

За цією ж методикою з поверхні несучої здатності для клеєної деревини 2-го сорту можна визначити значення коефіцієнтів *A* та *B* для розрахункової умови міцності в різних октантах простору напружень (стиск вздовж волокон, дотичні та напруження стиску впоперек волокон ($\sigma_c, \tau, \sigma_{\delta,90}$); стиск вздовж волокон, дотичні та напруження розтягу впоперек

волокон ($\sigma_c, \tau, \sigma_{\delta,90}$); розтяг вздовж волокон, дотичні та напруження стиску впоперек волокон ($\sigma_{\delta}, \tau, \sigma_{\delta,90}$)).

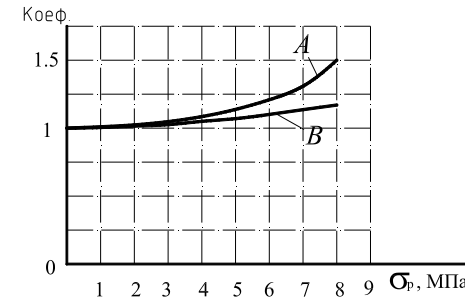


Рис. 3. Графік зміни коефіцієнтів *A* і *B* від рівня нормального напруження розтягу

Таблиця 1

Нормальні напруження розтягу, МПа	При напруженнях розтягу впоперек волокон	
	A	B
0	1.000	1.000
1	1.010	1.005
2	1.024	1.015
3	1.048	1.026
4	1.085	1.050
5	1.138	1.070
6	1.209	1.101
7	1.319	1.136
8	1.500	1.170

Таким чином уточнено коефіцієнти в розрахунковій умові (5) з урахуванням анізотропії фізико-механічних властивостей клеєної деревини та аналізу поверхні несучої здатності. Запропонована методика дозволяє аналогічно встановити коефіцієнти *A* і *B* також для деревини 1-го та 3-го сортів деревини. Користуючись уточненими коефіцієнтами *A* і *B*, за умовою (5) слід виконувати перевірку несучої здатності елементів і з'єднань, в яких реалізується СНС.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Знаменский Е.М., Пятикрестовский К.П., Горбатова Н.И. Современное состояние зарубежных и отечественных норм проектирования деревянных конструкций. Обзорная информация ВНИИИС. – М., 1982. Серия 8. Вып. 4. – 72 с.
2. Справочное руководство по древесине. Пер. с англ. - М., Лесная промышленность, 1979. Wood HANDBOOK. Wood as an engineering material. By Forest Products Laboratory Forest Service. U. S. Department of Agriculture, 1974.
3. Дмитриев П.А., Михайленко О.А. О работе и расчете опорных узлов деревометаллических треугольных безраскосных ферм. (Сообщение 2) / Известия вузов. Строительство. – 2003. - №1 – с.4-9.
4. Клименко В.З. Критерий прочности древесины при сложном напряженном состоянии / Сопротивление материалов и теория сооружений. Вып. 53, "Будівельник", Киев 1987.
5. Митинский А.Н. Упругие постоянные древесины как ортотропного материала. – Л.: Тр. Лесотехн. акад. – 1948. - №63. – С. 22-54.