

Під час пожежі на торф'яниках полум'яне горіння переходить у гетерогенне тління. Потім тління переходить в полум'яне горіння коли воно прогріває тверду речовину до такого ступеня, що починається її піроліз, або виділення з неї горючих летючих компонентів. І знову, коли в твердій речовині, що горіла з полум'ям, більше немає чому розкладатись або випаровуватись, полум'яне горіння переходить у гетерогенне тління. Ось чому нам доводиться спостерігати полум'яне горіння торфу на сусідніх ділянках з місцем первинного загорання через якийсь період часу після гасіння пожежі.

Таким чином ми можемо зробити **висновок**, що процес горіння та швидкість поширення підземної пожежі на торф'яниках цілком залежать від типу торфу та його фізико-хімічних властивостей.

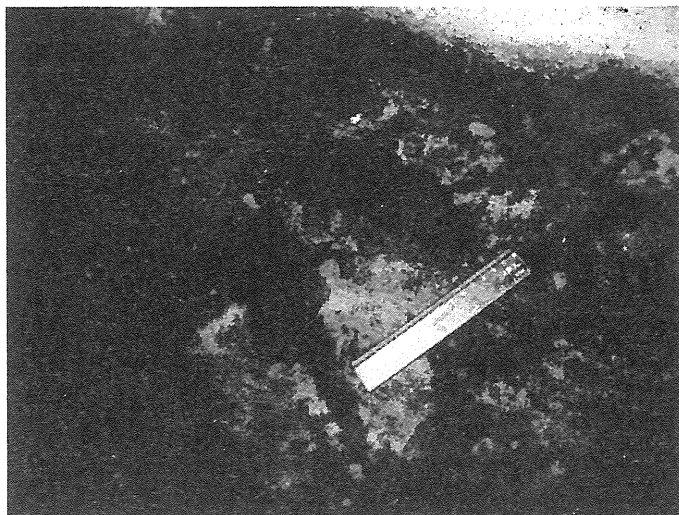


Рис. 3. Вид торфу після тління

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Статистичні дані МНС України. – Київ, 2006.
2. Ленартович Є.С., Божинів О.О., Тищенко Є.О. Розвиток пожеж на торф'яниках. Вісник Черкаського державного технологічного університету. Черкаси. 2005. - №1. -С. 177-179.
3. Богданов В.В., Кобец О.І. Локалізація і тушення торф'яних пожеж з використанням огнетушачих составов // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Пожежна безпека – 2007». – Черкаси, 2007. - С. 334-335.
4. Сизиков А.С., Іпат'єв А.В. О риске задымления населенных пунктов в результате лесных и торфяных пожаров. - Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Пожежна безпека – 2007». – Черкаси, 2007. - С. 404-405.
5. Іпат'єв А.В. Механізми дымообразования лесных горючих материалов и торфа // Міжнародна науково-практична конференція «Природничі науки та їх застосування в діяльності служби цивільного захисту». – Черкаси, 2006. - С. 98-99.
6. Слагін Г.І., Шкарабура М.Г., Кришталь М.А., Тищенко О.М. Основи теорії розвитку та припинення горіння. – Черкаси: ЧШБ, 2005. - С. 188.
7. Геологический словарь. Том второй. – Москва: «Недра», 1978 г. - С. 320-321.
8. Попов М.В. Исследования содержания микроэлементов в торфе и торфяных залежах с применением спектрального анализа. – Автореф. канд. дис. Калинин, 1967.
9. ГОСТ 12.1.005-88. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
10. МУ №1638-77. Методические указания на фотометр. Определение двуокиси азота в воздухе.
11. МУ №4588-88. Методические указания на фотометр. Измерение концентрации серной кислоты и диоксиды серы в присутствии сульфатов в воздухе рабочей зоны.

*М.М. Семерак, д.т.н., професор (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

*А.М. Домінік, асистент (Львівський державний аграрний університет)*

## ТЕРМОМІЦНІСТЬ ВІДНОВЛЕНОГО ОБЛАДНАННЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Розроблена математична модель визначення та дослідження напружено – деформованого стану відновленого циліндричного вала, обумовленого його нагрівом при експлуатації. Результати математичних досліджень зображені графічно.

Основною причиною зношування найбільш навантажених деталей енергетичного обладнання, зокрема бандажів, вальців млинів МВС-140А, молотків дробарок СМД-97А, є важкі умови експлуатації, пов'язані з підготовкою та розмолотом твердого палива (вугілля), яке в порохоподібному стані спалюють в котлах, чим і забезпечується безперебійна і надійна робота будь-якої теплової електричної станції.

При відновленні спрацьованих валів, розточують пошкоджену і зношену поверхню, а потім наплавляють зносостійкими матеріалами до початкових розмірів. Наплавку проводять в декілька шарів різної твердості [1,2].

При роботі відновлені вали нагріваються внаслідок тертя. Для їх охолодження вали виготовляють пустотілими. В порожнині вала протікає вода, яка його охолоджує. Внаслідок цього, температура вала значно зменшується, але має ще значний градієнт по товщині стінки. Внутрішня поверхня вала рівна температурі  $t_6$  рухомої охолоджуючої рідини, а зовнішня, внаслідок тертя, нагрівається до деякого значення  $t_3$ . Внаслідок наявності градієнта температури і різниці фізико-механічних характеристик матеріалу валу і наплавки в валі виникають температурні деформації і напруження, які часто є причиною аварії обладнання.

Відновлений вал моделюємо кусково – однорідним циліндром радіуса  $R_1$  з коаксіальним отвором радіуса  $R_0$  і двома наплавками, радіуса  $R_2$  і  $R_3$ .

Температурне поле валу знаходиться з рівняння [3,4]:

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dt}{dr} = 0, \quad (1)$$

і граничних умов:

$$t = t_6 \text{ при } r = R_0, \quad t = t_3 \text{ при } r = R_3. \quad (2)$$

де  $t_6, t_3$  - температура внутрішньої і зовнішньої стінки вала.

Інтегруючи рівняння (1) з врахуванням умов (2) одержано закон розподілу температури:

$$t = t_6 + \frac{t_3 - t_6}{\ln\left(\frac{R_3}{R_0}\right)} \cdot \ln\left(\frac{r}{R_0}\right). \quad (3)$$

Дослідимо напружено-деформований стан вала при зміні температури по закону (3). Відлік температури будемо проводити від значення при якому в наплавленому валі відсутні напруження. Значення температури при якій в наплавленому валі відсутні напруження, приймемо за нуль.

Розглянемо циліндричний вал радіуса  $R_1$ , в середині якого є отвір для підведення (рис. 1) охолоджуючої рідини з температурою  $t_0$  і двох коаксіальних шарів із радіусами  $R_2$  і  $R_3$ .

Для аналітичних досліджень виберемо циліндричну систему координат  $r, \varphi$ .

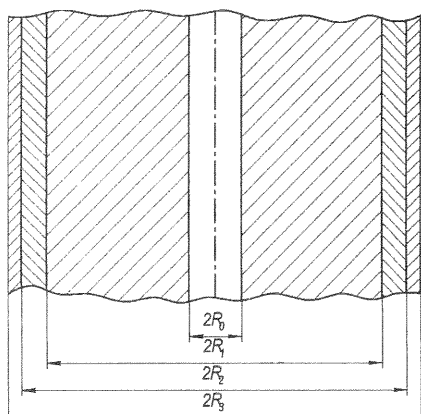


Рис. 1. Осьовий переріз тришарового вала з отвором

Радіальне переміщення  $U$  елементів вала можна знайти, розв'язавши диференціальне рівняння (1):

$$\frac{d^2 U_i}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dU_i}{dr} - \frac{U_i}{r^2} = \frac{1+\nu_i}{1-\nu_i} \cdot \alpha_t^{(i)} \cdot \frac{dt}{dr} \quad (4)$$

де  $U_i$  - переміщення  $i$ -го шару,  $i = 1, 2, 3$  - кількість шарів. Величини, які відносяться до основного шару будемо позначати індексом «1». Індексом «2» позначимо величини, які відносяться до першої наплавки, індексом «3» - до зовнішньої наплавки. Для зручності інтегрування рівняння (4) запишемо у вигляді:

$$\frac{d}{dr} \left( \frac{1}{r} \frac{d(ur)}{dr} \right) = \frac{1+\nu_i}{1-\nu_i} \cdot \alpha_t^{(i)} \cdot \frac{dT(r)}{dr}$$

Про інтегрування це рівняння двічі по  $r$ , знайдемо загальний розв'язок рівняння (4)

$$U = A_i \cdot r + \frac{B_i}{r} + \frac{1+\nu_i}{1-\nu_i} \cdot \alpha_t^{(i)} \cdot \frac{1}{r} \cdot \int_{R_i}^r t \cdot r \cdot dr, \quad (5)$$

де  $A_i, B_i$  - сталі інтегрування ( $i = 1, 2, 3$ ), які знаходимо із граничних умов.

Напруження, що діють в радіальному ( $\sigma_r$ ), кільцевому ( $\sigma_\varphi$ ) напрямках запишуться [5-7]:

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(i)} &= -\frac{\alpha_t^{(i)} \cdot E_i}{1-\nu_i} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \int_{R_i}^r t \cdot r \cdot dr + \frac{E_i}{1+\nu_i} \cdot \left[ \frac{A_i}{1-2\nu_i} - \frac{B_i}{r^2} \right] \\ \sigma_\varphi^{(i)} &= \frac{\alpha_t^{(i)} \cdot E_i}{1-\nu_i} \cdot \frac{1}{r^2} \cdot \int_{R_i}^r t \cdot r \cdot dr + \frac{E_i}{1+\nu_i} \cdot \left[ \frac{A_i}{1-2\nu_i} + \frac{B_i}{r^2} \right] - \frac{\alpha_t^{(i)} \cdot E_i \cdot t}{1-\nu_i}, \end{aligned} \quad (6)$$

де  $E_i$  - модуль Юнга, Па;  $\nu_i$  - коефіцієнт Пуассона,  $\alpha_t^{(i)}$  - температурний коефіцієнт лінійного розширення для матеріалів вала, наплавки,  $1/K$ ;  $i = 1, 2, 3$  - кількість шарів.

Сталі інтегрування  $A_i$  і  $B_i$  знайдемо з рівності переміщень (5) і радіальних напружень (6) на стику циліндрів, а також рівності нулю переміщення при  $r = 0$  і радіальних напружень при  $r = R_3$ . Тобто:

$$\begin{aligned} \sigma_r^{(1)} &= 0, & \text{при } r = R_0, \\ U_1 &= U_2, & \sigma_r^{(1)} = \sigma_r^{(2)}, & \text{при } r = R_1, \\ U_2 &= U_3, & \sigma_r^{(2)} = \sigma_r^{(3)} & \text{при } r = R_2, \\ \sigma_r^{(3)} &= 0, & \text{при } r = R_3. \end{aligned} \quad (7)$$

Підставивши вирази (5) і (6) в умови (7) одержимо систему з шести алгебраїчних рівнянь, для знаходження шести сталих  $A_i, B_i$   $i = 1, 2, 3$ . Розв'язок системи здійснювався з використанням методу Крамера в системі Mathcad. Для конкретних значень геометричних розмірів та фізико - механічних характеристик розглядуваного вала обчислювались елементи матриці, які є коефіцієнтами при змінних  $A_i, B_i$ :

$$M := \begin{bmatrix} d_1 & 0 & 0 & -L_{10} & 0 & 0 \\ (R_1)^2 & -(R_1)^2 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ d_{11} & -d_{21} & 0 & -L_1 & L_2 & 0 \\ 0 & (R_2)^2 & -(R_2)^2 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & d_{22} & -d_{32} & 0 & -L_2 & L_3 \\ 0 & 0 & d_{33} & 0 & 0 & -L_3 \end{bmatrix} \quad v := \begin{pmatrix} b_1 \\ -b_2 \\ b_3 \\ -b_4 \\ b_5 \\ b_6 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{де, } d_1 &= \frac{E_1}{(1+\nu_1) \cdot (1-2 \cdot \nu_1)}, & d_2 &= \frac{E_2}{(1+\nu_2) \cdot (1-2 \cdot \nu_2)}, & d_3 &= \frac{E_3}{(1+\nu_3) \cdot (1-2 \cdot \nu_3)}, \\ S_1 &= \frac{(1+\nu_1)}{(1-\nu_1)} \cdot \alpha_t^{(1)}, & S_2 &= \frac{(1+\nu_2)}{(1-\nu_2)} \cdot \alpha_t^{(2)}, & S_3 &= \frac{(1+\nu_3)}{(1-\nu_3)} \cdot \alpha_t^{(3)}, \\ H_1 &= \frac{\alpha_t^{(1)} \cdot E_1}{1-\nu_1}, & H_2 &= \frac{\alpha_t^{(2)} \cdot E_2}{1-\nu_2}, & H_3 &= \frac{\alpha_t^{(3)} \cdot E_3}{1-\nu_3}, \\ L_1 &= \frac{E_1}{(1+\nu_1)}, & L_2 &= \frac{E_2}{(1+\nu_2)}, & L_3 &= \frac{E_3}{(1+\nu_3)}, \\ L_{10} &= \frac{L_1}{R_0^2}, & d_{21} &= d_2 \cdot R_1^2, & d_{22} &= d_2 \cdot R_2^2, \\ d_{32} &= d_3 \cdot R_2^2, & d_{33} &= d_3 \cdot R_3^2, & K &= \frac{t_3 - t_6}{\ln\left(\frac{R_3}{R_0}\right)}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{10} &= t_6 \cdot \left(\frac{R_1^2 - R_0^2}{2}\right) + K \cdot \left(\frac{R_1^2}{2} \cdot \ln\left(\frac{R_1}{R_0}\right) - \frac{R_0^2}{2} \cdot \ln\left(\frac{R_0}{R_0}\right) - \frac{R_1^2}{4} + \frac{R_0^2}{4}\right), \\ I_{21} &= t_6 \cdot \left(\frac{R_2^2 - R_1^2}{2}\right) + K \cdot \left(\frac{R_2^2}{2} \cdot \ln\left(\frac{R_2}{R_0}\right) - \frac{R_1^2}{2} \cdot \ln\left(\frac{R_1}{R_0}\right) - \frac{R_2^2}{4} + \frac{R_1^2}{4}\right), \\ I_{32} &= t_6 \cdot \left(\frac{R_3^2 - R_2^2}{2}\right) + K \cdot \left(\frac{R_3^2}{2} \cdot \ln\left(\frac{R_3}{R_0}\right) - \frac{R_2^2}{2} \cdot \ln\left(\frac{R_2}{R_0}\right) - \frac{R_3^2}{4} + \frac{R_2^2}{4}\right), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b_1 &= 0, & b_2 &= S_1 \cdot I_{10}, & b_3 &= H_1 \cdot I_{10}, & b_4 &= S_{21} \cdot I_{21}, \\ & & b_5 &= H_2 \cdot I_{21}, & b_6 &= H_3 \cdot I_{32}. \end{aligned}$$

Для відновленого вала з радіусами  $R_1 = 0,525$  м,  $R_2 = 0,527$  м,  $R_3 = 0,535$  м,  $R_0 = 0,2$  м розраховані радіальні ( $\sigma_r$ ) і кільцеві ( $\sigma_\varphi$ ) температурні напруження, в залежності від полярного радіуса  $r$ . Результати розрахунків представлені графічно на рис.2.

При розрахунку прийнято: а)  $t_6 = 20$  °С,  $t_3 = 100$  °С; б)  $t_6 = 80$  °С,  $t_3 = 100$  °С.

Фізико – механічні характеристики матеріалів вала і наплавки рівні:

$$\begin{aligned} E_1 &= 2,10 \cdot 10^{11} \text{ Па}, & \nu_1 &= 0,3, & \alpha_t^{(1)} &= 1,4 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K}, \\ E_2 &= 2,19 \cdot 10^{11} \text{ Па}, & \nu_2 &= 0,27, & \alpha_t^{(2)} &= 1,3 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K}, \\ E_3 &= 2,21 \cdot 10^{11} \text{ Па}, & \nu_3 &= 0,25, & \alpha_t^{(3)} &= 1,2 \cdot 10^{-5} \frac{1}{K}. \end{aligned}$$

Аналіз графіків (рис.2.а) показує, що найбільші по величині є кільцеві температурні напруження. Максимального значення вони досягають на внутрішній поверхні вала ( $r = R_0$ ) і

є розтягуючими. При віддаленні від цієї поверхні вони стрімко зменшуються і переходять у зону стиску. Найбільшого значення вони досягають на зовнішній поверхні вала ( $r = R_3$ ). В зоні наплавки вони змінюються стрибкоподібно.

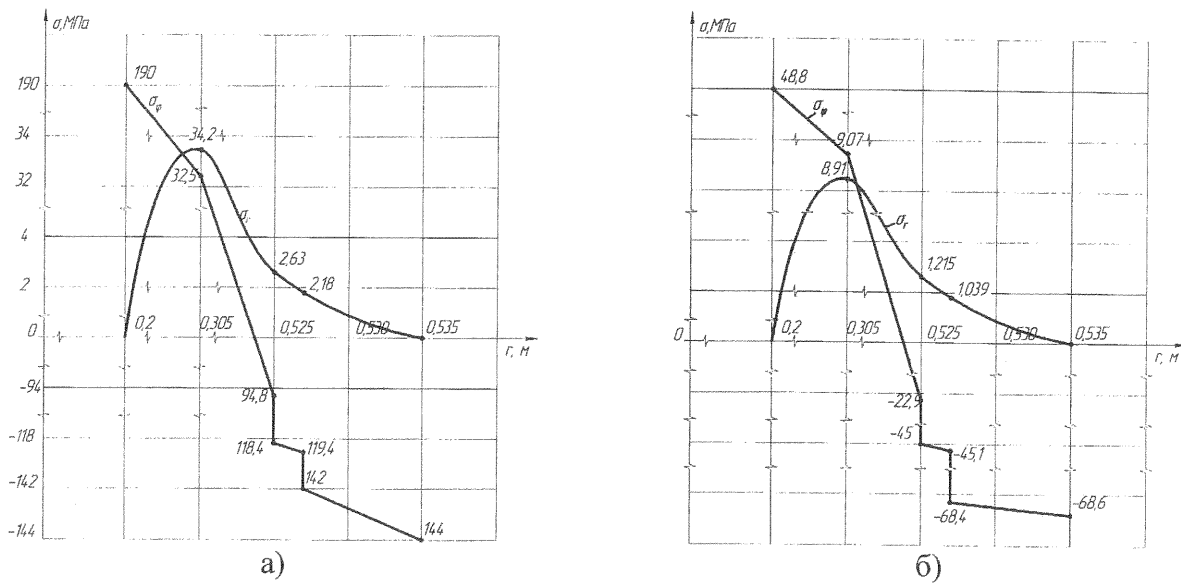


Рис. 2 Зміна радіальних і кільцевих напружень в поперечному перерізі трьохшарового наплавненого вала при різній температурі внутрішньої поверхні.

При підвищенні температури внутрішньої поверхні з 20 °С до 80 °С зменшується градієнт температури по радіусу  $r$ . При цьому значно зменшується максимальне значення радіальних і кільцевих температурних напружень (рис.2.б).

Радіальні температурні напруження є розтягуючі по всій товщині вала, а на обох поверхнях рівні нулю. Максимального значення вони досягають на проміжку  $R_0 < r < R_1$ .

**Висновок.** З аналізу графіків радіальних і кільцевих температурних напружень випливає, що найбільш небезпечними є кільцеві напруження на внутрішній і зовнішній поверхнях. Зменшення їх величини можливе підбором матеріалу наплавки і зменшенням градієнта.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Руководящие технические материалы по сварке при монтаже тепловых электростанций (РТМ-1С-81). – М.: Энергоиздат, 1982. – 138 с.
2. Обзорная информация: Восстановительная и упрочняющая наплавки в машиностроении. М.: ЦИНТИ, 1974. – 58 с.
3. Лыков А.В. Теория теплопроводности. - М.: Высшая школа. 1967. – 600 с.
4. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача. М.: Высшая школа. 1988. 480с.
5. Тимошенко С.П., Гудер Дж. Теория упругости - М.: Наука. 1975.- 576 с.
6. Гейтвуд Б.Е. Температурные напряжения применительно к самолетам, снарядам, турбинам и ядерным реакторам. - М.: Иностран. литер., 1959. – 350 с.
7. Федик И.И., Колесов В.С., Михайлов В.Н. Температурные поля и термонапряжения в ядерных реакторах. - М.: Энергоатомиздат, 1985. – 280 с.
8. Нормы расчета трубопроводов и парогенераторов тепловых и атомных станций. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 748 с.
9. Подстригач Я.С., Коляно Ю.М., Семерак М.М. Температурные поля и напряжения в элементах электровакуумных приборов. – Киев.: Наук. думка 1981. – 344 с.