

Т. І. Матченко

*АТ «Київський науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут “Енергопроект”»,
просп. Перемоги, 4, м. Київ, 01135, Україна*

Визначення реологічних змін полімерних каналів арматурних канатів

Ключові слова:
арматурні канати,
полімерні матеріали,
реологічні зміни,
довговічність,
каналоутворювачі

Оскільки у процесі роботи канати труться по стінках каналів захисної оболонки реакторного відділення атомної електростанції, з часом руйнуються полімерні каналоутворювачі і захисні трубки арматурних канатів. Для визначення коефіцієнта тертя в часі арматурних канатів між каналоутворювачами упродовж терміну роботи захисної оболонки, необхідно знати довговічність полімерних матеріалів каналоутворювача та полімерних трубок арматурних канатів. Для точного визначення нелінійних процесів деградації полімерів на підставі експериментальних досліджень необхідні методики виконання досліджень та обробки їх результатів. Такі методики відсутні в нормативних документах атомної енергетики і будівельної галузі в Україні. У статті запропонована методика визначення довговічності полімерних матеріалів після їх прискороного старіння за результатами випробування зразків на одновісне розтягнення і руйнування.

Вступ

Захисна оболонка (ЗО) реакторного відділення (РВ) атомної електростанції (АЕС) забезпечує герметичність внутрішніх приміщень під час максимальної проектно аварії, за якої підвищується надлишковий тиск і градієнт температури. Для забезпечення обтиснення залізобетонної ЗО застосовуються арматурні канати (АК), які розташовані в полімерних каналоутворювачах. Розрахунки зусиль в АК, які забезпечують міцність і герметичність ЗО 4-го РВ Запорізької АЕС, виконані в [4, 5]. Монтаж каналоутворювачів при будівництві ЗО РВ показаний на рис. 1. Проміжки між АК (рис. 2) заповнені змазкою, яка зменшує втрати попереднього напруження від тертя.

Внаслідок натягнення АК забезпечується попереднє напруження стиснення в бетоні і недопущення розкриття тріщин при підвищенні тиску і температури під час аварії. За тривалої експлуатації відбувається релаксація напружень в АК, тому їх періодично підтягують. Під час підтягування АК труться по

стінках каналів. Внаслідок цього з часом руйнуються полімерні каналоутворювачі та захисні трубки АК.

Для визначення втрат зусиль в АК внаслідок тертя по стінкам каналів необхідно знати, як змінюється в часі коефіцієнт тертя внаслідок старіння і руйнування полімерів каналу і трубок АК. Для визначення



Рис. 1. Монтаж каналоутворювачів захисної оболонки реакторного відділення АЕС

© Т. І. Матченко, 2019



Рис. 2. Перетин каналотворювача з армоканатами

коефіцієнта тертя АК по каналотворювачах у часі на період роботи ЗО необхідно знати їх довговічність. Довговічність полімерних матеріалів зазвичай менша за довговічність бетону і сталі. У тих випадках, коли критерієм довговічності споруди є довговічність АК, слабкою ланкою є полімерні матеріали. Довговічність полімерних матеріалів є функцією значної кількості механізмів деградації. Для попередньої оцінки деградації полімерних матеріалів можна скористатися величинами швидкості деградації для лінійної моделі процесу, наведеними в [3]. Для більш точного визначення нелінійних процесів деградації полімерів на підставі експериментальних досліджень необхідні методики виконання досліджень і обробки їх результатів. Такі методики відсутні в нормативних документах з атомної енергетики та в будівельній галузі в Україні.

Мета роботи – сформулювати методику визначення довговічності полімерних матеріалів за результатами їх випробувань для механізмів: термічне старіння і радіаційне старіння для можливості її використання при визначенні довговічності полімерних матеріалів каналотворювачів і полімерних захисних трубок АК ЗО АЕС.

Основні положення процесу визначення довговічності полімерних матеріалів за результатами випробування зразків

Пошкодження полімерного матеріалу за будь-яким параметром, що контролюється під час обстежень, визначається окремо для кожного механізму деградації. З деградації окремих механізмів склада-

ється узагальнена деградація і сумарне пошкодження ω_s . Пошкодження вимірюється в долях від одиниці. За відсутності пошкоджень $\omega_s = 0$. У випадку, коли відбувається руйнування матеріалу полімеру, $\omega_s = 1$.

Окремі механізми деградації і відповідні їм параметри пошкодження є такими: ω_1 – температурне старіння; ω_2 – радіаційне фотонне старіння; ω_3 – радіаційне нейтронне старіння; ω_4 – радіаційне ультрафіолетове старіння; ω_5 – деформаційне старіння; ω_6 – малоциклове термічне старіння; ω_7 – багатоциклове термічне старіння; ω_8 – малоциклове деформаційне старіння; ω_9 – багатоциклове деформаційне старіння; ω_{10} – корозія на поверхні; ω_{11} – абразивний знос поверхні.

Внаслідок зміни температури полімерного матеріалу змінюються його механічні властивості. Існують такі критичні температури зміни стану полімерного матеріалу: T_k – температура крихкості; T_B – температура відновлення або пластичності; T_{II} – температура плавлення.

1) у разі значень температури нижче T_k – полімерний матеріал руйнується крихко; малі значення K_{IC} (критичного значення коефіцієнта інтенсивності напружень для тріщини нормального відриву в матеріалі); матеріал деформується пружно; після руйнування відсутні залишкові пластичні деформації на поверхні злому; швидко відбувається процес старіння; мале значення енергії активації (E_a); поступове зменшення значення E_a в процесі експлуатації;

2) у разі значень температури в інтервалі від T_k до T_B – полімерний матеріал руйнується в'язко-крихко; коефіцієнт K_{IC} набуває відносно великих значень; матеріал деформується пружно-пластично; після руйнування є залишкові пластичні деформації на поверхні злому; відносно високі значення енергії активації E_a , в цьому стані $E_a = \text{const}$ протягом експлуатації;

3) у разі значень температури в інтервалі від T_B до T_{II} – полімерний матеріал руйнується в'язко; без утворення тріщин; матеріал деформується пластично; у разі зняття напружень заликовуються наслідки процесів старіння, які виникли під час експлуатації за низьких температур; поступово збільшуються значення енергії активації E_a протягом експлуатації;

4) у разі значень температури вище T_{II} – полімерний матеріал з твердого стану переходить у рідкий.

Таким чином, визначення довговічності полімерного матеріалу за результатами випробувань після прискороного старіння у разі підвищених температур необхідно виконувати для температури, що не перевищує T_B . Прогноз довговічності буде коректним, якщо протягом експлуатації температура по-

лімерного матеріалу не зменшується нижче T_K і не перевищує T_B .

Визначення довговічності полімерних матеріалів за результатами їх випробувань після прискореного старіння від дії температури

Температурне старіння (параметр деградації ω_1) визначається залежністю

$$\omega_1(T, t) = S_1(T, t) t(T), \quad (1)$$

де $t(T)$ – час дії температури T на полімер, год; $S_1(T, t)$ – швидкість деградації (в цьому випадку швидкість старіння) полімеру внаслідок дії температури, (долі від одиниці)/год; $\omega_1(T, t)$ – параметр, який відображає зміну в часі параметра деградації, який контролюється (наприклад, відносне видовження зразка після розриву A %) внаслідок дії температури, долі від одиниці.

Швидкість старіння $S_1(T, t)$, яка виникає внаслідок дії температури, визначається законом Арреніуса

$$S_1(T, t) = k \times \exp(-E_a / RT), \quad (2)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, має розмірності долі/год; T – температура полімеру, °К; R – універсальна газова постійна Больцмана, $R = 8,31$ Дж \times К⁻¹ моль⁻¹; E_a – еквівалентна енергія активації процесу старіння полімеру, Дж \times моль⁻¹.

Отже, для визначення швидкості старіння полімеру за температури експлуатації T , необхідно знайти шляхом прискорених випробувань значення параметрів E_a і k , які є константами матеріалу для діапазону температур експлуатації ΔT , в межах яких відсутні стрибки та зломи на графіку залежності $S_1(T, t)$ – T .

Значення контрольованого параметра (умовно позначимо цей параметр як Π) на початку експлуатації ($t = 0$) і на час експлуатації t визначається залежностями:

для параметра, що зменшує своє значення протягом експлуатації:

$$\Pi_e = \Pi_0 (1 - \omega), \quad (3)$$

а для параметра, що збільшує своє значення:

$$\Pi_e = \Pi_0 (1 / (1 - \omega)). \quad (4)$$

Будемо вважати, що довговічність t_d відповідає значенню критично допустимого пошкодження ω_u .

Для полімерів $\omega_u = 0,5$, для бетону $\omega_u = 0,3$, для сталі $\omega_u = 0,15$.

Рівняння (1) і (2) не змінюються залежно від значення температури полімеру. Параметри E_a і k не змінюються в межах ΔT . Тоді під час прискореного старіння з підвищеною температурою T_1 , пошкодження полімеру величиною $\omega_u = 0,5$ буде досягнуто за час t_1 .

Існують такі якісні стани полімерного матеріалу, які залежать від температурного інтервалу, в якому перебуває матеріал. Зокрема у разі нормальної експлуатації за середньої температури протягом експлуатації T_e пошкодження величиною $\omega = 0,5$ буде досягнуто за час $t = t_e$ за умови, що T_1 і T_e знаходяться в межах ΔT

Можна записати

$$0,5 = \omega_1(T_1, t_1) = \omega_1(T_e, t_e). \quad (5)$$

Тоді

$$t_1 \times k \times \exp(-E_a / RT_1) = t_e \times k \times \exp(-E_a / RT_e). \quad (6)$$

Тоді t_e визначається рівнянням

$$t_e = t_1 \times \exp(-E_a \times (1 / T_1 - 1 / T_e) / R), \quad (7)$$

де t_e – довговічність полімеру при його старінні тільки внаслідок дії температури середовища, год.

Невідомими в рівнянні (7) є тільки значення еквівалентної енергії активації старіння (E_a) матеріалу, що досліджується. Значення (E_a) можна знайти за результатами двох випробувань зразків з метою визначення їх старіння ω_1 за параметром, що контролюється, з попереднім старінням при двох значеннях температури T в межах ΔT . Тоді

$$\omega_1 = t_1 \times k \times \exp(-E_a / RT_1), \quad (8)$$

$$\omega_2 = t_2 \times k \times \exp(-E_a / RT_2), \quad (9)$$

де ω_1, ω_2 – значення пошкодження полімеру за параметром, що контролюється для першого і другого випробування, долі; T_1, T_2 – температура при першому і другому випробуванні, °К; t_1, t_2 – час першого і другого випробування, год.

Тоді

$$E_a = \lg [(\omega_2 \times t_1) / (\omega_1 \times t_2) / [1 / T_1 - 1 / T_2] / R]. \quad (10)$$

Якщо далі необхідно знайти значення коефіцієнта пропорційності, то його можна визначити за формулою

$$k = t_i \times \exp(-E_a / RT_i) / \omega_p, \quad (11)$$

де t_p , T_p , ω_i – значення параметрів для випробування з індексом (i).

Аналіз випробувань показує спочатку поступове збільшення, а потім зменшення міцності на розрив полімерного матеріалу внаслідок старіння; спочатку зростання, а потім зменшення видовження зразка після розриву; спочатку збільшення, а потім зменшення площі діаграми деформування.

Визначення швидкості зростання енергії активації полімеру за результатами випробувань при $T > T_B$

Енергія активації полімеру не змінюється для другого якісного стану в інтервалі температур $T_K - T_B$ і є константою $E_{a2} - \text{const}$. Якщо полімер знаходиться t діб при температурі $T > T_B$ в третьому якісному стані, то його енергія активації визначається за формулою

$$E_{a3} = E_{a2} + v_{ET3} \times (T_B - T) \times t, \quad (12)$$

де v_{ET3} – швидкість зростання енергії активації при дії температури, Дж \times К⁻¹моль⁻¹діб⁻¹; t – тривалість дії температури $T > T_B$, діб; T_B – температура відновлення або пружно-пластичного переходу. Зазвичай T_B знаходиться в діапазоні $(0,6 - 0,8) \times T_{п}$; $T_{п}$ – температура плавлення полімеру, °К.

Швидкість зростання енергії активації визначається за формулою

$$v_{ET3} = (E_{a3} - E_{a2}) / (t \times (T_B - T)). \quad (13)$$

Значення E_{a3} і E_{a2} визначаються за формулою (10) за результатами випробувань зразків після нагріву при $T > T_B$ і $T < T_B$.

Визначення швидкості зменшення енергії активації полімеру за результатами випробувань при $T < T_K$

Якщо полімер знаходиться t діб при температурі $T < T_K$ у першому якісному стані, то його енергія активації визначається за формулою

$$E_{a1} = E_{a2} + v_{ET1} \times (T_K - T) \times t, \quad (14)$$

де v_{ET1} – швидкість зменшення енергії активації при дії температури, Дж \times К⁻¹моль⁻¹діб⁻¹; T_K – температура крихкості або склування полімеру, °К.

Швидкість зменшення енергії активації визначається за формулою

$$v_{ET1} = (E_{a2} - E_{a1}) / (t \times (T_K - T)). \quad (15)$$

Значення E_{a1} і E_{a2} визначаються за формулою (10) за результатами випробувань зразків після нагріву при $T < T_K$ для визначення E_{a2} і після охолодження при $T < T_K$ при визначенні E_{a1} .

Визначення довговічності полімерних матеріалів за результатами їх випробувань після прискороного старіння від дії ультрафіолетового опромінення

Полімерні матеріали будівельних конструкцій, що експлуатуються без захисту від сонячного (ультрафіолетового) опромінення, накопичують енергію, яка впливає на структурні зміни і хімічні процеси полімеру. Внаслідок цього відбувається радіаційне ультрафіолетове старіння ω_4 полімеру. Потужність накопичення енергії радіаційного опромінення полімеру за один місяць опромінення визначається за формулою

$$Q_M = Q_C \times k_n, \quad (16)$$

де Q_C – середньомісячне значення потужності енергії радіації на горизонтальній поверхні, Вт/(м² \times місяць), за [1]; k_n – коефіцієнт поглинання енергії матеріалу, долі від одиниці; Q_M – середньомісячне значення сумарної потужності енергії радіації, накопиченої матеріалом, Вт/(м² \times місяць).

Можна записати $q_c = Q_C / 730,5$, де q_c – середньомісячне значення сумарної потужності енергії радіації, що накопичується матеріалом за одну годину, Вт/(м² \times год); 730,5 – кількість годин в одному місяці.

Тоді

$$\omega_4(q_c, t) = S_C(q, t) \times t(q), \quad (17)$$

де $t(q)$ – час дії ультрафіолетового опромінення, год; $S_C(q, t)$ – швидкість деградації полімеру внаслідок дії ультрафіолетового опромінення, долі/год; $\omega_4(q_c, t)$ – параметр пошкодження, який відображає зміну в часі

параметрів, які контролюються (наприклад, відносне видовження зразка після його розриву, теплопровідність тощо). Тоді

$$\omega_u(q_c, t) = A(q, t = t_{\text{он}}) / A(q, t = 0), \quad (18)$$

де $t_{\text{он}}$ – тривалість опромінення, год; $t = 0$ – час на початку опромінення, год.

Швидкість старіння $S_C(q, t)$ зумовлена дією ультрафіолетового опромінення, визначається залежністю

$$S_C(q, t) = Z_1 \times \exp(-Z_2 \times q), \quad (19)$$

де Z_1 – коефіцієнт, який не має розмірності; Z_2 – коефіцієнт, $\text{м}^2 \times \text{год} / \text{Вт}$.

Значення коефіцієнтів Z_1 і Z_2 є константами матеріалу полімеру, і вони можуть бути визначені за результатами двох серій випробувань. Якщо для першої серії випробувань середня швидкість старіння становить $S_C(q, t) = S_1(q_1, t)$ за середній час випробування $t = t_1$ при середній потужності опромінення $q = q_1$, тоді буде досягнуто значення параметру старіння $\omega = \omega_u = \omega_1$, а для другої серії випробування при $S_C(q, t) = S_2(q_2, t)$, $t = t_2$, $q = q_2$ буде досягнуто значення параметру старіння $\omega = \omega_u = \omega_2$, то можна записати

$$\omega_u = \omega_1 = \omega_2, \quad (20)$$

$$S_1(q_1, t) \times t_1 = S_2(q_2, t) \times t_2, \quad (21)$$

$$Z_1 \times \exp(-Z_2 \times q_1) \times t_1 = Z_2 \times \exp(-Z_2 \times q_2) \times t_2, \quad (22)$$

Тоді

$$Z_2 = \lg [t_1 / t_2] / (q_1 - q_2), \quad (23)$$

за умови, що $\omega_1 = \omega_2$, після того як визначили Z_2 , знайдемо значення Z_1 за формулою

$$Z_1 = \omega_1 / \exp(-Z_2 \times q_1), \quad (24)$$

або

$$Z_1 = \omega_1 / \exp(-Z_2 \times q_1). \quad (25)$$

Довговічність полімеру t_e , що експлуатується під дією ультрафіолетового опромінення, визначається за формулами

$$t_e = \omega_u / S_C(q, t) = \omega_u / (Z_1 \times \exp(-Z_2 \times q_e)), \quad (26)$$

$$t_e = t_1 \times \exp(Z_2 \times (q_e - q_1)), \quad (27)$$

де q_e – середня потужність опромінення протягом експлуатації; q_1 – потужність опромінення під час випробування, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \times \text{год})$; t_1 – тривалість опромінення під час випробування, год.

Довговічність полімеру t_e , що експлуатується в умовах одночасної дії температури та ультрафіолетового опромінення, визначається залежністю

$$t_e = \omega_u / (S_T(T_e, t) + S_C(q_e, t)), \quad (28)$$

де $S_T(T_e, t)$ – середня швидкість старіння полімеру за середньої температури експлуатації T_e , $S_C(q_e, t)$ – середня швидкість старіння полімеру за середньої потужності ультрафіолетового опромінення q_e протягом експлуатації.

Визначення зсуву критичної температури крихкості полімерного матеріалу внаслідок термічного старіння

Зсув критичної температури крихкості внаслідок термічного старіння визначається за формулою

$$\Delta T_T = T_{\text{КТ}} - T_{\text{КО}} \quad (29)$$

де ΔT_T – величина зсуву температури, $^{\circ}\text{K}$; $T_{\text{КТ}}$ – критична температура крихкості матеріалу, який піддається термічному старінню, $^{\circ}\text{K}$; $T_{\text{КО}}$ – критична температура крихкості матеріалу на початку експлуатації (до відліку старіння).

Під критичною температурою крихкості розуміється температура, яка відповідає температурному кордону зміни характеру руйнування полімеру від крихкого до в'язкого. Ця температура визначається за енергією, яка витрачається на руйнування. Показником, який контролюється, є ударна в'язкість матеріалу [2]. За виглядом злому зразка, показником крихкого або в'язкого руйнування приймається відношення площі в'язкої складової в зломі відносно загальної площі злому або значення поперечного розширення зразка в зоні злому.

Для визначення критичної температури крихкості полімеру здійснюють випробування зразка з надрізом типу V на ударний згин у визначеному інтервалі температур. На підставі отриманих результатів

випробувань будують залежність ударної в'язкості, в'язкої складової в зломі і поперечного розширення зразка залежно від температури випробувань. За заданими критичними значеннями ударної в'язкості і в'язкої складової в зломі з використанням графіків їх залежності від температури, визначають значення критичної температури крихкості полімеру.

Термічного старіння зазнають заготовки під зразки розміром 60×13×13 мм. Температуру термічного старіння задають відповідно до нормативно-технічної документації на виріб або матеріал, і вона не повинна бути меншою за розрахункову температуру $T_K + 30$ °C або перевищувати її більше ніж $T_B - 30$ °C. У процесі витримки зразка за температури старіння допускається коливання температури в межах ± 5 °C від номінального значення температури старіння.

Заготовки зразків для випробувань на ударний згин витримуються за заданої температури протягом 500, 1000, 3000, 5000, 7500, 10000 год. Для полімерів, які не мають екстремума зміни T_{KT} у процесі старіння за витримки від 5000 до 10000 год, випробування з тривалістю витримки 7500 год допускається не виконувати. У випадку, якщо залежність T_{KT} від часу старіння має монотонну залежність, що прагнуче до насиченості, експериментальні данні $\Delta T_T = T_{KT} - T_{K0}$ для різних тривалостей старіння апроксимуються рівнянням

$$\Delta T_T = \Delta T_T^{lim} (1 - e^{-pt}) \quad (30)$$

де ΔT_T^{lim} , p – емпіричні постійні, які визначаються за допомогою методів математичної статистики; t – тривалість старіння, год.

У випадку екстремального характеру залежності T_{KT} від тривалості старіння в перелічених інтервалах часу використовується апроксимація «спадаючої» ділянки залежності за рівнянням

$$\Delta T_T = \Delta T_T^{max} \times (1 - e^{-b \cdot (t - t_{max})}) + C \quad (31)$$

де ΔT_T^{max} – зсув критичної температури крихкості матеріалу в околиці екстремума; t_{max} – тривалість старіння, при якому спостерігається екстремум (максимум); b та C – емпіричні постійні, які визначаються за допомогою методів математичної статистики, °C.

Якщо за температури й тривалості старіння, що перевищують перелічені вище показники, відбувається монотонне зменшення T_{KT} , яке не прагне до насиченості, допускається встановлювати залежність

T_{KT} від часу старіння з використанням параметра Холломона за формулою

$$T_{KT} = H_p = (T + 273) \times (M + \lg(t)) \times 10^{-3}, \quad (32)$$

де t – тривалість старіння, год; T – температура старіння, °C; M – емпірична постійна, яка визначається методом математичної статистики.

При цьому температура старіння повинна перевищувати встановлену на 50 °C, а тривалість старіння становити 1000, 3000, 5000 год. Вказана в цьому випадку методика може застосовуватися у випадку однакового характеру зміни залежності $T_{KT} - T$ за використаних температур старіння.

Проведення випробування зразків

Розміри зразка для випробування на ударну в'язкість показано на рис. 3. Розташування зразка для випробування ударом маятника відображено на рис. 4. Розташування зразка для випробування ударом методом Шарпі показано на рис. 5. Температурний інтервал випробування на ударну в'язкість зразків повинен бути таким, що би в нього обов'язково входила точка T_K ; $T_K \pm 10$ °C; $T_K \pm 20$ °C; $T_K \pm 30$ °C; $T_K \pm 40$ °C. Для кожної температури випробування повинно бути не менше трьох зразків. Якщо орієнтовне значення T_{K1} заздалегідь невідоме, допускається виконувати випробування в ін-

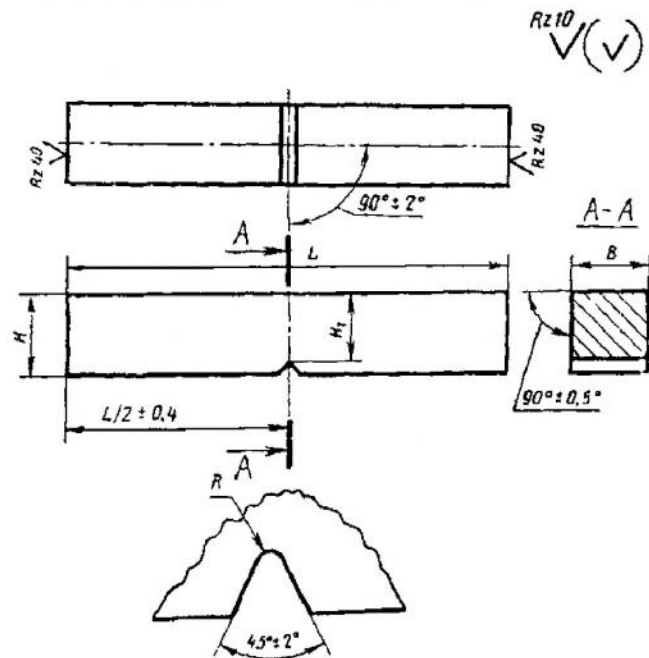
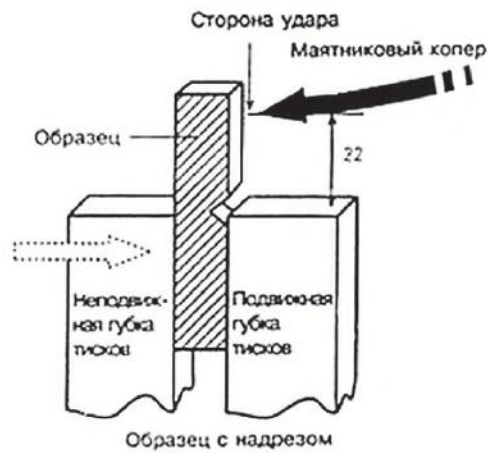


Рис. 3. Зразок для випробування на ударну в'язкість полімерних матеріалів: B = 3 мм; H = 10 мм



а



б

Рис. 4. Випробування зразка на ударну в'язкість ударом маятника: а – метод вимірювання ударної міцності за Ізодом; б – маятниковий копер для вимірювання ударної міцності за Ізодом, фірма CEAST

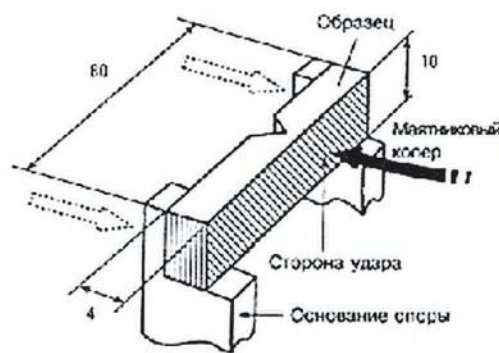


Рис. 5. Випробування зразка на ударну в'язкість методом Шарпі

тервалі температур $(T_{К1} - 10\text{ }^\circ\text{C}) < T < (T_{К1} + 40\text{ }^\circ\text{C})$.

У випадку, коли орієнтовне значення $T_{К1}$ заздалегідь невідоме, рекомендується визначити значення ударної в'язкості за двох значень температур $20\text{ }^\circ\text{C}$ і $0\text{ }^\circ\text{C}$. Далі порівнюють ці значення (які повинні бути не нижче) з критичними значеннями KCV_K визначеними за формулою

$$KCV_K = R_{p0,2} \times A \times k_v \times b_1 / (\gamma_c \times k_{пр}), \quad (33)$$

де $R_{p0,2}$ – межа текучості матеріалу за температури $T = 20\text{ }^\circ\text{C}$, Па; A – відносне подовження зразка після його розриву, долі; k_v – коефіцієнт, який враховує виточку у формі V і дорівнює $k_v = 10^{-2}$, долі; b_1 – коефіцієнт, який дорівнює 1 м; γ_c – коефіцієнт надій-

ності, який дорівнює 1,2; $k_{пр}$ – коефіцієнт переходу вимірювань KCV із Дж/м² на Дж/см² і який дорівнює $k_{пр} = 10^4$ см/м.

Визначають інтервал подальших температурних випробувань, виходячи з рівняння

$$KCV = a + b_2 \times \exp(c \times T), \quad (34)$$

$$KCV_K = a + b_2 \times \exp(c \times T_K). \quad (35)$$

Тоді

$$\frac{KCV - a}{KCV_K - a} = \exp(c \times (T - T_K)) \quad (36)$$

Далі

$$T_K = T - \lg \left(\frac{KCV - a}{KCV_K - a} \right) / c \quad (37)$$

де (c) має розмірність $1/^\circ\text{C}$; $(a \text{ і } b_2)$ має розмірність, Дж/м². Рівняння (37) має дві невідомі T_K і (c) . Маючи результати двох випробувань KCV_{20} і KCV_0 за температур 20°C і 0°C , можна визначити T_{K1} у першому приближенні.

У випадку, коли немає можливості провести випробування на ударну в'язкість полімерних матеріалів, значення T_K можна визначити за результатами випробувань зразків на одноосний розрив. У такому випадку T_K визначається за діаграмою зміни залежності відносного видовження зразка після його розриву (A) від температури (T). Значення T_K відповідає злому або стрибку на діаграмі $A - T$. Загальний вигляд універсальної випробувальної машини на розрив зразка показано на рис. 7. Загальний вигляд зразка для випробування на одноосний розрив показаний на рис. 7а, а випробування із застосуванням екстензометра «Пласт» фірми Galdabini – на рис. 7б.

Висновки

1. Викладено процедури визначення довговічності полімерних матеріалів, які старіють унаслідок дії температури та радіаційного опромінення, за результатами їх випробувань на ударну в'язкість та осьове розтягнення.

2. Отримані результати можуть бути використані для визначення реологічних змін полімерних матеріалів, коефіцієнтів тертя арматури по каналу, довговічності полімерних каналів та полімерних захисних трубок АК та інших полімерів, які використовуються в ЗО реакторних відділень АЕС.

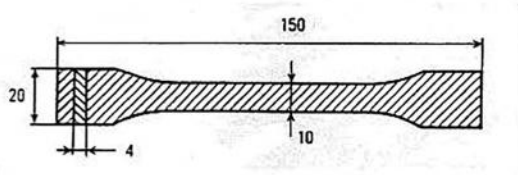
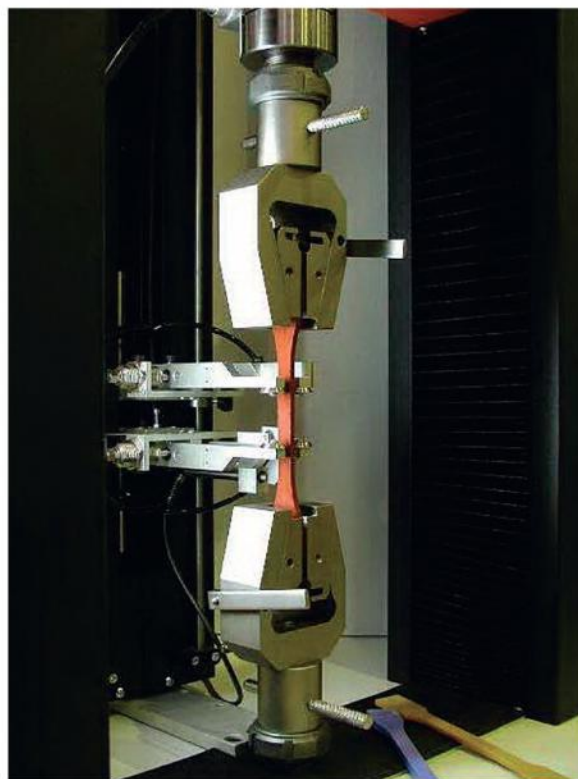


Рис. 6. Універсальний зразок для випробування полімерного матеріалу на одноосне розтягнення відповідно до ISO/R 527:1966, ГОСТ 11262-80 (тип 2); розміри зразка вказані в мм



а



б

Рис. 7. Універсальна випробувальна машина для проведення механічних випробувань фірми Galdabini; а – загальний вигляд; б – випробування із застосуванням екстензометра «Пласт» фірми Galdabini

Список використаної літератури

1. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. [Прийнятий Наказом Мінрегіону України від 16.12.2010 р. № 511, чинний від 01.11.2011 р.] / Мінрегіонбуд України. – Київ : Укрархбудінформ, 2011. – 123 с.
2. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок [Введены с изменениями 01.07.1987 г.] / Госатомэнергонадзор СССР. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 525 с.
3. Матченко Т. І. Методика оцінки ресурсу ущільнювачів і герметиків будівельних конструкцій / Т. І. Матченко, Л. Б. Шаміс, П. Т. Матченко, Л. Ф. Первушова // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. – 2011. – Вип. 15. – С. 72–84.
4. Выполнение расчетного обоснования надежности СГО ЛСБ энергоблока № 4 на соответствие требованиям действующих НД по определению допустимых усилий натяжения арматурных канатов СПЗО : отчет о НИР (этап 1, ред. 3) / КИЭП. – 181712.218.001РК00 ; Инв № 518-Р/1-518/3.
5. Выполнение расчетного обоснования надежности СГО ЛСБ энергоблока № 4 на соответствие требованиям действующих НД по определению допустимых усилий натяжения арматурных канатов СПЗО : отчет о НИР (этап 2, ред. 1) / КИЭП. – 181712.218.002РК00 ; Инв № 522-Р. – Киев, 2018.

Т. І. Матченко

АО «Киевский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт “Энергопроект”»,
просп. Победы, 4, г. Киев, 01135, Украина

Определение реологических изменений полимерных каналов арматурных канатов

В процессе работы канаты трутся по стенкам каналов защитной оболочки реакторного отделения атомной электростанции. Со временем разрушаются полимерные каналобразователи и защитные трубки арматурных канатов. Для определения коэффициента трения во времени арматурных канатов по каналобразователям в течение работы защитной оболочки необходимо знать долговечность полимерных материалов каналобразователей и полимерных трубок арматурных канатов. Для точного определения нелинейных процессов деградации полимеров на основе экспериментальных

исследований необходимы методики выполнения исследований, обработки их результатов. Такие методики отсутствуют в нормативных документах атомной энергетики и в строительной отрасли в Украине. В статье предложена методика определения долговечности полимерных материалов после их ускоренного старения по результатам испытания образцов на одноосное растяжение и разрушение.

Ключевые слова: арматурные канаты, полимерные материалы, реологические изменения, долговечность, каналобразователи.

T. I. Matchenko

JSC “Kyiv Research and Design Institute “Energoproject””,
4, Peremogy av., Kyiv, 01135, Ukraine

Determination of Relogic Changes of Polymeric Channels of Armature Hands

The containment of the reactor compartment should ensure the integrity of the interior at the time of the accident. For compression containment tensioning ropes are used. Ropes rub against the wall of the holes in the shell. Due to the tension of the ropes the crack opening is prevented. Over time, polymer protective sheaths of ropes are destroyed. In the wire ropes there are abrasive cracks. It is necessary to know the durability of the polymeric materials of the channel formers and the tubes of the reinforcement ropes to determine the coefficient of friction of reinforcing ropes along the channel formers in time during the operation of the containment. To accurately determine the nonlinear processes of polymer degradation on the basis of experimental studies, a technique is needed for carrying out the testing of polymer samples, processing the results of the studies. Such methods are not available in the regulatory documents of nuclear energy and the construction industry in Ukraine. In the article:

the main provisions of the process of determining the durability of polymer materials based on the results of testing the samples are described;

the procedure of determining the durability of polymeric materials according to their tests after accelerated aging from the temperature action is described;

the procedure of determination of the growth rate of activation energy of a polymer based on the results of tests at $T > T_v$ is stated;

the procedure of determination of the reduction rate of activation energy of a polymer according to the results of tests at $T < T_k$ is stated;

the procedure of determination of durability of polymeric materials on the results of their tests after accelerated aging from the effect of ultraviolet irradiation is described;

the procedure of determination of the shift of the critical temperature of the fragility of the polymeric material due to thermal aging is described;

the procedure of determination of the durability of polymeric materials aging due to temperature and irradiation based on the results of their tests on impact strength is described;

the procedure of the determination of the durability of polymeric materials aging due to temperature and irradiation based on the results of their axial stretching tests is described.

The obtained results can be used in the determination of rheological changes of polymer materials, coefficients of friction of reinforcement along the channel, durability of polymeric channels and polymeric protective tubes of reinforcing ropes, and other polymers used in protective casings of reactor units of the NPP.

Keywords: reinforcement ropes, polymeric materials, durability, channel formers.

References

1. DSTU-N B V.1.1-27:2010 *Construction climatology. Protection from hazardous geological processes, harmful operational impacts, from fire*. Kyiv: Ministry for Regional Development, Building and Housing of Ukraine, 2011, 123 p. (in Ukr.)
2. USSR State Committee for the Supervision of Safe Work in the Nuclear Power Industry (1989). PNAE G-7-002-86. *Norms for calculating the strength of equipment and pipelines of nuclear power plants*. Moscow: Energoatomizdat, 525 p. (in Russ.)
3. Matchenko T. I., Shamis L. B., Matchenko P. T., Pervushova L. F. (2011). [Methods of assessing the resource and gasket building structures]. *Problemy bezpeky atomnyh elektrostantsiy i Chornobylya* [Problems of nuclear power plants safety and of Chornobyl], vol. 15, pp. 72–84. (in Ukr.)
4. *Research effort report "Implementation of the design justification of the reliability of sealed enclosure system – safety localization system of the power unit no. 4 for compliance with the requirements of the existing regulatory documents (to determine the allowable tension forces of reinforcing ropes containment preloading system)".* Stage 1, rev. 3, 181712.218.001PK00, inv. no 518-P/1–518/3. Kyiv Research and Design Institute "Energoproject". (in Russ.)
5. *Research effort report "Implementation of the design justification of the reliability of sealed enclosure system – safety localization system of the power unit no. 4 for compliance with the requirements of the existing regulatory documents (to determine the allowable tension forces of reinforcing ropes containment preloading system)".* Stage 1, rev. 3, 181712.218.002PK00, inv. no 522-P. Kyiv Research and Design Institute "Energoproject". (in Russ.)

Надійшла 24.01.2019

Received 24.01.2019