

3. Кривик О.О. Особливості поєднання різних порід деревини у клеєний щит із збереженням формостійкості: магістерська робота / О.О. Кривик. – Львів, 2009. – 140 с.

4. Кривик О.О. Влияние эксплуатационных условий на формоустойчивость щита клееного из разных пород древесины / О.О. Кривик, В.О. Маевский // Лесной и химический комплекс – проблемы и решения. – Красноярск : Изд-во Сибирского ГТУ. – 2011. – Т. 1. – С. 103-106.

5. Изделия из древесины и древесных материалов. Допуски формы и расположения поверхностей: ГОСТ 6449.3-82. – [Изменение № 1 к ГОСТ 6449.3-82 от 01.07.1988]. – М. : Изд-во стандартов, 1982.

6. Пардаев А.С. Обеспечение формоустойчивости неоднородных массивов древесины с учетом цилиндрической анизотропии их элементов при усушке и разбухании : дис. ... канд. техн. наук: спец. – 05.21.05 / Пардаев Александр Сергеевич. – Минск, 2008. – 20 с.

7. Маєвський В.О. Дослідження формостійкості клеєних щитів з масивної деревини дуба. / В.О. Маєвський, Ю.В. Бенях // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 15.5. – С. 199-208.

8. Войтович І.Г. Основи технології виробів з деревини / І.Г. Войтович. – Львів : Вид-во "Інтелект-Захід", 2004. – 142 с.

9. Ашкенази Е.К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е.К. Ашкенази. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1978. – 24 с.

10. Леонтьев Н.Л. Влияния влажности на физико-механические свойства древесины / Н.Л. Леонтьев. – М. : Изд-во Гослесбумиздат, 1962. – 79 с.

11. Перельгин Л.М. Древесиноведение / Л.М. Перельгин, Б.Н. Уголев. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1971. – 106 с.

12. Боровиков А.М. Справочник по древесине / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев. – М. : Изд-во "Лесн. пром-сть", 1989. – 258 с.

13. Вінтонів І.С. Деревинознавство : навч. посібн. – Вид. 2-ге, [перероб. та доп.] / І.С. Вінтонів, І.М. Сопушинський, А. Тайшінгер. – Львів : Вид-во "Апріорі", 2007. – 269 с.

14. Соколовський Я.І. Дослідження теплофізичних і пружних властивостей деревини ультразвуковим методом / Я.І. Соколовський, В.О. Сафаров, О.Л. Сторожук // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2005. – Вип. 15.4. – С. 124-133.

15. Сторожук О.Л. Дослідження впливу фізичних характеристик деревини на швидкість поширення ультразвукових хвиль / О.Л. Сторожук, Я.І. Соколовський // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2011. – Вип. 37.1.

16. Древесина. Резонансный метод определения модулей упругости и сдвига и декремента колебаний. ГОСТ 16483.31-74. – [Изменение 1, 2, утвержденные январе 1980 г., июне 1985 г.]. – М. : ИПК Изд-во стандартов, 1999.

17. Вольнский Н.В. Взаимосвязь и изменчивость физико-механических свойств древесины / Н.В. Вольнский. – Архангельск : Изд-во АГТУ, 2000. – 135 с.

Кривик О.О., Маевский В.О., Жмурко С.В. Предпосылки сочетания разных пород древесины в клееных щитах

Рассмотрены предпосылки сочетания реек разных пород древесины в клееных щитах с целью получения экологического и эстетического материала с соответствующими физико-механическими и технологическими свойствами. Проанализировано зависимость формоустойчивости щитов, клееных из разных пород древесины, от влияния эксплуатационных факторов, в частности влажности и температуры.

Ключевые слова: сочетание разных пород древесины, клееный щит, формоустойчивость, влажность, моделирование.

Kryvyk O.O., Mayevskyy V.O., Zhmurko S.V. Prerequisites for combination of different wood species in glued boards

The prerequisites for combination of blanks of different wood species in glued boards were considered. This study can allow to receive the ecological and aesthetic wood with appropriate physical, mechanical and technological properties. Dependence of shape stability for boards glued from different species of wood under the influence of working conditions (humidity and temperature) was analyzed.

Keywords: combination of different wood species, glued board, shape stability, humidity, simulation.

УДК 622.692.4

Гол. інж. С.Ф. Савула¹, канд. техн. наук;
проф. Є.В. Харченко², д-р техн. наук; аспір. Р.С. Савула²

СТРУКТУРНІ ЗМІНИ В СТАЛЯХ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВІДІВ У ПРОЦЕСІ СТАРІННЯ

Розглянуто структурні зміни, які відбуваються в сталях магістральних газопроводів у процесі тривалої експлуатації. Досліджено структуру і хімічний склад трубних сталей, виявлено перерозподіл атомів вуглецю за об'ємами зерен, а також дифузю атомів хімічних елементів з газового середовища в сталь. Одержані результати мають практичне значення і можуть бути використані з метою забезпечення надійності і прогнозування ресурсу магістральних газопроводів.

Ключові слова: магістральний газопровід, процес тривалої експлуатації, сталь, структурні зміни.

1. Вступ. Значна частина труб магістральних газопроводів (МГ) в Україні експлуатується тривалий час (з 60-х і більш ранніх років) в умовах дії механічних навантажень і корозійного середовища. Протягом такого періоду в сталях труб МГ розвиваються процеси старіння, кінетика яких залежить від хімічного складу, структурних параметрів матеріалу, температури експлуатації, рівня напружень у стінці труби, хімічного складу транспортованого газу. Тому забезпечення надійності і прогнозування технічного стану труб МГ має надзвичайно велике практичне значення. Особливо важливим науково-практичним завданням є всебічне вивчення структурних змін, що відбуваються в сталях у процесі тривалої експлуатації МГ [1-4]. Аналіз та висвітлення особливостей таких змін здійснено у цій праці.

2. Структурні аспекти процесу старіння і його моделі. Як відомо [3], старіння – це фундаментальне явище, пов'язане з переходом структури металів і сплавів з нерівноважного в більш рівноважний стан в умовах достатньої дифузійної рухливості атомів, воно відбувається внаслідок дії другого закону термодинаміки. Процеси старіння матеріалів супроводжуються зміною їхніх механічних, фізичних і хімічних властивостей.

У трубних сталях, особливо в сталях контрольованої прокатки, внаслідок перенасичення граток α -заліза вуглецем, утворюється нерівноважна феритова структура. Це забезпечує високу міцність сталей у стані поставки, але надлишковий вуглець з часом виходить із граток до їхніх дефектів. Якщо перенасичення вуглецем є порівняно невеликим, то весь вуглець може осісти на дислокаціях. У випадку значного перенасичення дислокації не можуть поглинути весь вуглець і він виходить на межі зерен. На рис. 1 показано типове виділення карбідів на межах зерен фериту.

Під час досліджень структури і хімічного складу трубної сталі 17 ГС експлуатованого з 60-х рр. магістрального газопроводу "Дашава – Мінськ" Ду 800 мм на ділянці Комарнівського ЛВУ МГ ми виявили перерозподіл атомів вуглецю по об'ємах зерен (рис. 2).

¹ Філія управління магістральних газопроводів "Львівтрансгаз";

² НУ "Львівська політехніка"

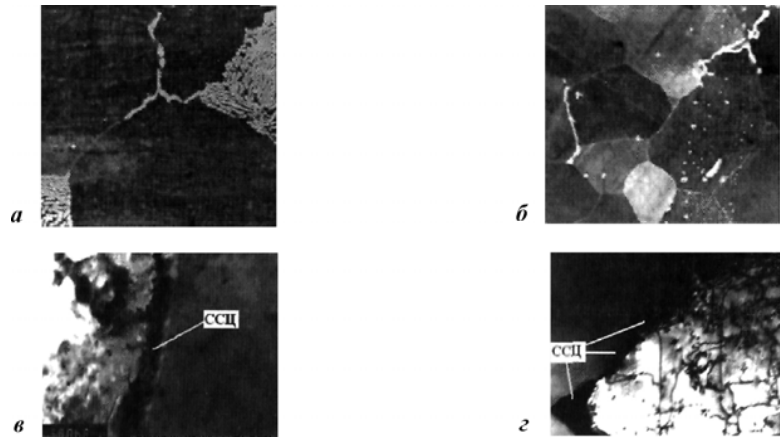


Рис. 1. Типове виділення карбідів на межах зерен фериту: атомно-силова мікроскопія (а, б); просвічувальна електронна мікроскопія (в, з)

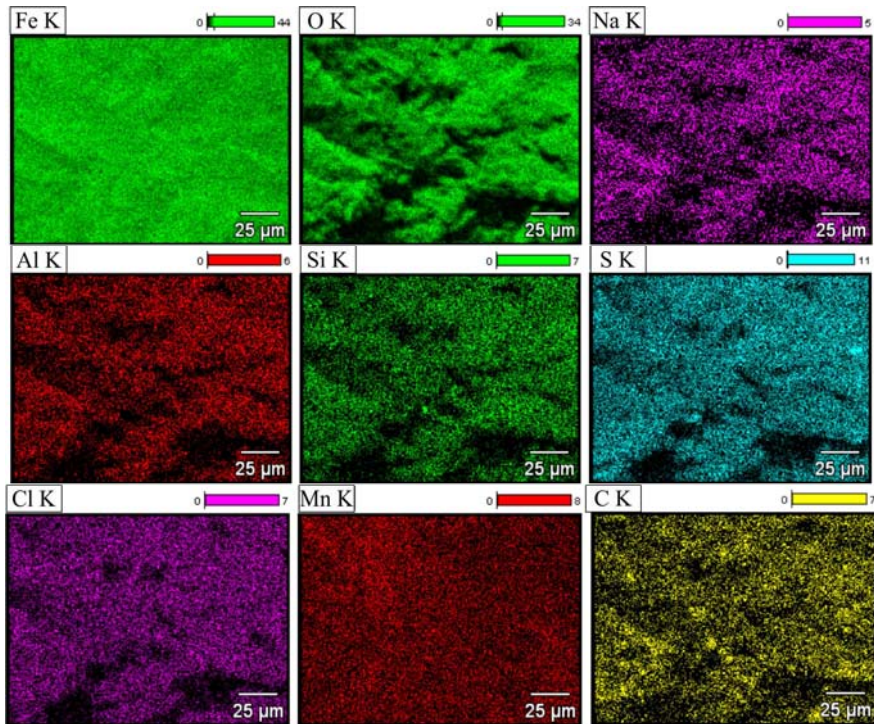


Рис. 2. Перерозподіл атомів хімічних елементів за об'ємом зерна трубної сталі після тривалої експлуатації

Визначені спектри випромінювання атомів, типовий приклад яких подано на рис. 3, свідчать про дифузію атомів хімічних елементів із середови-

ща, в якому експлуатують труби, у трубну сталь. Вміст хімічних елементів в окремих об'ємах сталі проілюстровано на прикладах, наведених у табл. 1.

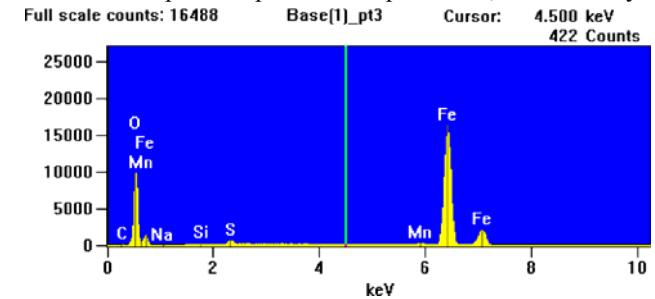


Рис. 3. Спектр випромінювання атомів

Табл. 1. Приклади визначення вмісту хімічних елементів у вибраних об'ємах сталі

Об'єм 1			Об'єм 2			Об'єм 3			Об'єм 4		
Element	Wt., %	Atom., %	Element	Wt., %	Atom., %	Element	Wt., %	Atom., %	Element	Wt., %	Atom., %
C K	8,01	15,72	C K	3,18	8,49	C K	1,90	4,84	C K	8,94	17,55
O K	42,67	62,86	O K	24,89	49,84	O K	29,86	57,02	O K	41,12	60,63
Al K	0,06	0,05	Si K	0,14	0,16	Na K	0,43	0,57	Na K	0,55	0,57
Si K	0,36	0,30	S K	0,75	0,75	Si K	0,22	0,24	Al K	0,05	0,04
S K	1,22	0,89	Mn K	1,05	0,61	S K	0,84	0,80	Si K	0,22	0,19
Cl K	0,12	0,08	Fe K	69,99	40,15	Mn K	0,99	0,55	S K	0,76	0,56
Mn K	0,48	0,21	—	—	—	Fe K	65,77	35,98	Cl K	0,09	0,06
Fe K	47,09	19,88	—	—	—	—	—	—	Mn K	0,62	0,26
—	—	—	—	—	—	—	—	—	Fe K	47,66	20,13

Перерозподіл атомів вуглецю, а також дифузія хімічних елементів Na, Al, Si, S, Cl, Mn свідчать про розвиток процесів старіння трубної сталі. Це підтверджується загальним виглядом мікроструктури поверхні матеріалу експлуатованих труб (рис. 4), для яких проводили аналіз вмісту і розподілу елементів.

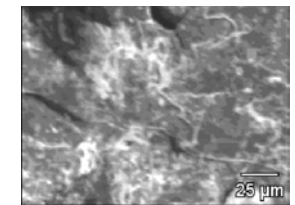


Рис. 4. Мікроструктура поверхні сталі труби

Початкова стадія процесу старіння матеріалу полягає в осіданні зайвих атомів вуглецю (і азоту) на дислокаціях, згідно з класичною моделлю Котрелла. Ця модель добре працює за умови малих перенасичень. Однак, коли концентрація вуглецю перевищує $3 \cdot 10^{-4} \%$, всі вакантні місця біля дислокацій є зайнятими [2]. Якщо рівень перенасичення є високим (концентрація є близькою до $3 \cdot 10^{-2} \%$), то надлишковий вуглець може виходити не лише в області дислокацій, а й на межі зерен. Тоді для повного опису процесу старіння моделі Котрелла не достатньо [5]. Якщо котреллівське старіння розглядати як нульовий етап, то подальший процес можна вважати двоетапним:

- перший етап: дифузія атомів вуглецю до границь зерен;
- другий етап: утворення й ріст часточок карбідів на границях зерен.

3. Оцінки характерного часу старіння. Для оцінки характерного часу протікання першого етапу (етапу дифузії атомів вуглецю до границь зерен) будемо використовувати найпростішу формулу, що дає змогу описати взаємозалежність між часом дифузійного процесу τ_1 і ефективним коефіцієнтом дифузії $D_{эф}$:

$$\tau_1 = L^2 / D_{эф}$$

де: L – характерний дифузійний шлях, що повинні пройти атоми вуглецю, дорівнює приблизно половині розміру зерна ($L \sim d/2$), $D_{эф} = D_v + \rho a D_c + (\delta/d) D_b$, де D_v , D_c , D_b – коефіцієнти дифузії в обсязі зерна, по ядрах дислокацій і по межах зерен, a – ширина ядра дислокації, ρ – густина дислокацій, δ – ширина границі зерна. Як видно з формули, ключовими структурними параметрами, необхідними для оцінки часу протікання першого етапу старіння, є густина дислокацій і величина зерна. Підставляючи в цю формулу характерні значення параметрів, що наведені в табл. 2, одержимо значення τ_1 . Для сталей контрольованої прокатки $\tau_1 = 24$ роки.

Табл. 2. Характерні значення параметрів трубної сталі

Умовне позначення	Параметр	Характерне значення
$D_v = D_{v0} \exp(-Q_v/kT)$	Коефіцієнт об'ємної дифузії вуглецю в гратці α -заліза	$5,5 \cdot 10^{-17} \text{ см}^2/\text{с}$ ($T_{кімн}$)
D_{v0}	Передекспоненціальний множник коефіцієнта об'ємної дифузії	$10^{-2} \text{ см}^2/\text{с}$
Q_v	Енергія активації об'ємної дифузії	$5,5 \text{ кТ}_m$
$D_c = D_b$	Коефіцієнти дифузії вуглецю по ядрах дислокацій і по межах зерен відповідно	$2,5 \cdot 10^{-12} \text{ см}^2/\text{с}$
D_{c0}, D_{b0}	Передекспоненціальні множники коефіцієнтів дифузії по ядрах дислокацій і по межах зерен відповідно	$0,4 D_{v0}$
Q_c, Q_b	Енергія активації дифузії по ядрах дислокацій і по межах зерен відповідно	$0,6 Q_v$
ρ	Густина граткових дислокацій	10^{10} см^{-2} (для сталей КП)
a	Ефективний переріз ядра дислокації	$6 \cdot 10^{-15} \text{ см}^2$
δ	Ширина границі зерна	$5 \cdot 10^{-8} \text{ см}$
d	Розмір зерна	10 мкм (для сталей КП)

Для розрахунку характерного часу дифузійного утворення й росту часточок карбідів на межах зерен (другий етап старіння) можна використати класичні моделі. Залежність об'ємної частки карбідів, що виділяються, від часу виражається рівнянням Аврами:

$$f_v = f_{v0} \left[1 - \exp \left\{ - \left(t / \tau_2 \right)^n \right\} \right],$$

де: f_{v0} – максимальна об'ємна частка часточок, що виділяються; n – показник, що характеризує механізм росту. Характерний час виділення часточок τ_2 визначається за формулою

$$\tau_2 = \tau_0 \exp(-Q/kT),$$

де: τ_0 – передекспоненціальний множник; Q – енергія активації дифузійного процесу, що контролює зародження й ріст часточок.

Припускаючи, що виділення карбідів відбувається поблизу меж зерен, використаємо такі значення параметрів: $n=1,5$, $\tau_0 = \lambda^2 / (\Delta C)^{1/3} D_{v0}$, $Q=Q_v$; λ . Розмір області, з якої частка "збирає" атоми вуглецю, можна приблизно оцінити за формулою $\lambda = \rho^{-1/2}$, а ступінь перенасичення фериту вуглецем ΔC становить $3 \cdot 10^{-2} \%$. Тоді $\tau_2 \approx 1$ год.

Наведені оцінки показують, що вуглець досить довго рухається до меж зерен (цей час можна назвати "інкубаційним періодом"), а потім порівняно швидко утворює карбіди на цих межах. Наведені результати є наближеними, але в загалом розглянута схема буде "працювати" для всіх типів сталей, специфіку яких повинні враховувати більш точні розрахунки. Зазначимо, що чим дрібніше зерно, тим швидше відбувається процес старіння. Час старіння експоненціально залежить від температури експлуатації. За наявності робочих напружень він може бути в 2-3 рази меншим, ніж за їх відсутності. Отже, для прогнозування ресурсу магістральних газопроводів необхідно враховувати як технологію виготовлення труб, так і умови експлуатації.

4. Вплив основних чинників на кінетику процесу старіння. Розглянемо, як впливають на процес старіння найбільш істотні чинники – розмір зерна, температура експлуатації й напруження у стінці труби (табл. 3).

Табл. 3. Вплив розміру зерна, температури експлуатації й зовнішніх напружень на характерний час процесу старіння

Розмір зерна $\tau_1(d) \sim (d/2)^2$		Температура $\tau_1(T) \sim \exp(-Q/kT)$		Напруження $\tau_1(\sigma) \sim \exp(-\sigma Q/kT)$	
d , мкм	τ	T , °C	τ	σ , МПа	τ
10	τ_1	10	τ_1	0	τ_1
15	$2,25 \tau_1$	20	$\tau_1/3$	245 ($p=5,4$ МПа, $\varnothing 1420 \times 16$ мм)	$\tau/2,5$
20	$4 \tau_1$	40	$\tau_1/30$	245 ($p=7,4$ МПа, $\varnothing 1420 \times 16$ мм)	$\tau/3,5$

Примітка: час дифузійного процесу $\tau_1 = (d/2)^2 / D_{эф}$.

Із квадратичної залежності τ_1 від розміру зерна випливає, що чим дрібніше зерно, тим швидше відбувається процес старіння. Якщо для сталей гарячого прокатування, нормалізованих сталей і сталей контрольованого прокатування прийняти розмір зерна 20, 15 й 10 мкм, відповідно, то характерний час старіння для сталей контрольованого прокатування виявляється в 4 рази меншим, ніж для сталей гарячого прокатування і в 2,25 рази меншим, ніж для нормалізованих сталей.

Час старіння експоненціально залежить від температури експлуатації. Якщо трубу експлуатують за підвищеної температури (наприклад, поблизу компресорної станції), то процес старіння в ній буде протікати помітно швидше. З табл. 3 видно, що підвищення температури експлуатації від 20 до 40 °C призводить до зменшення характерного часу старіння у 10 разів.

Оцінка впливу напружень на час старіння є досить складною, у цій праці її виконують на основі спрощеної моделі. Із наведеної табл. 3 випливає,

що характерний час старіння за робочих напружень може бути в 2-3 рази меншим, ніж за їх відсутності.

Підводячи підсумки проведеного аналізу кінетики процесу старіння, ще раз наголосимо: характерний час старіння труб магістральних газопроводів залежить від технології виготовлення, яка визначає концентрацію вуглецю у твердому розчині (ступінь перенасичення), розмір зерна d , вміст легуючих елементів, що перешкоджають руху вуглецю, і густину дислокацій, а також від умов експлуатації – температури й рівня механічних напружень.

У табл. 4 узагальнено вплив основних структурних чинників на інтенсивність процесу старіння. До найважливіших чинників віднесено розмір зерна, густину дислокацій і рівень перенасичення твердого розчину вуглецем.

Наголосимо підкреслити, що наведені порівняльні характеристики мають якісний характер, для їх кількісної оцінки і практичного застосування необхідним є проведення додаткових широкомасштабних досліджень, спрямованих на прогнозування залишкового ресурсу магістральних газопроводів.

Табл. 4. Вплив типу прокатування на кінетику процесу старіння

Чинники, що впливають на розвиток старіння	Тип прокатування		
	гаряче прокатування	нормалізація	контрольоване прокатування
Розмір зерна	великий	середній	малий
Густина дислокацій	середня	середня	велика
Рівень перенасичення твердого розчину вуглецем	середній	низький	високий
Схильність до старіння	мала	мала	велика
Час старіння	великий	середній	малий
Роль процесу старіння	мала	середня	велика

Як видно з табл. 4, найменша інтенсивність старіння характерна для сталей гарячого прокатування (великий розмір зерна, середня густина дислокацій, середній рівень перенасичення), а найбільша інтенсивність старіння характерна для сталей контрольованої прокатки (малий розмір зерна, велика щільність дислокацій і високий рівень перенасичення).

У табл. 4 відсутній опис термічно покращуваних сталей з огляду на те, що для їх аналізу в літературі немає достатньої інформації. Виняток становлять термічно покращувані сталі спіральшовних труб виробництва 70-х – початку 80-х років ХХ ст. Дослідження цих сталей показали, що вони, внаслідок невірної обраної температури відпуску були "зістарені" ще на заводі: у всіх досліджених зразках на границях зерен було виявлено карбіди, що виділилися в процесі заводського термооброблення.

Висновки. Як показують результати досліджень, в сталях труб магістральних газопроводів розвиваються процеси старіння. Особливо інтенсивно вони проходять в сталях, виготовлених за технологією контрольованої прокатки. Кінетика процесу старіння залежить від структурних параметрів матеріалу, температури експлуатації й рівня напружень у стінці труби.

На характерний час старіння сталі істотно впливає технологія виготовлення труб, якою визначаються концентрація вуглецю у твердому розчині (ступінь перенасичення), розмір зерна d , вміст легуючих елементів, які пе-

решкоджають рухові вуглецю, і щільність дислокацій, а також умови експлуатації, а саме, температура експлуатації й рівень механічних напружень.

Література

1. Чувильдеев В.Н. Влияние старения на эксплуатационные свойства сталей магистральных газопроводов // Проблемы старения сталей магистральных трубопроводов : сб. трудов науч.-практ. семинара / под общ. ред. Б.В. Будзуляка, А.Д. Седых. – Нижний Новгород : Изд-во "Университетская книга", 2006. – 234 с.
2. Гольдштейн М.И. Металлофизика высокопрочных сплавов / М.И. Гольдштейн, В.С. Литвинов, Б.М. Бронфин. – М. : Изд-во "Металлургия", 1986. – 235 с.
3. Скаков Ю.А. Старение металлических сплавов / Ю.А. Скаков // В сб.: Металловедение : матер. симпозиума. – М. : Изд-во "Металлургия", 1971. – С. 234-239.
4. Бабич В.К. Деформационное старение стали / В.К. Бабич, Ю.П. Гуль, И.Е. Долженков. – М. : Изд-во "Металлургия", 1972. – 322 с.
5. Фридель Ж. Дислокации : пер. с англ. / под ред. А.Л. Ройтбурга. – М. : Изд-во "Мир", 1967. – 326 с.

Савула С.Ф., Харченко Е.В., Савула Р.С. Структурные изменения в сталях магистральных трубопроводов в процессе старения

Рассмотрены структурные изменения, происходящие в сталях магистральных газопроводов в процессе длительной эксплуатации. Исследованы структура и химический состав трубных сталей, обнаружены перераспределение атомов углерода по объёмам зёрен, а также диффузия атомов химических элементов из газовой среды в сталь. Полученные результаты имеют практическое значение и могут быть использованы с целью обеспечения надёжности прогнозирования ресурса магистральных газопроводов.

Ключевые слова: магистральный газопровод, процесс длительной эксплуатации, сталь, структурные изменения.

Savula S.F., Kharchenko Ye.V., Savula R.S. Structural changes, which takes place in steels magistral gases during lasting exploitation.

In this work considers structural changes, which takes place in steels magistral gases during lasting exploitation. Structure and chemical contains tubular steels were examined, as a results were found distribution atoms of carbonate into volumes of grains, also diffusion atoms of chemical elements from gas surroundings to steel. The results have practical meaning and could be explored with aim to provide reliability and to prognosis the source of magistral gages.

Keywords: gas pipeline, the process of long-term operation, steel, structural changes.

УДК 630*81 Доц. Т.В. Юськевич, канд. с.-г. наук – НЛТУ України, м. Львів

УСИХАННЯ ДЕРЕВИНИ ІНТРОДУКОВАНИХ ВИДІВ СОСНИ

Наведено радіальне, тангентальне та об'ємне усихання деревини інтродукованих видів роду Сосна (сосни Банка, сосни Веймута, сосни жорсткої, сосни чорної), які зростають у лісових насадженнях Західного регіону України.

Ключові слова: інтродуковані види сосни, усихання, радіальне усихання, тангентальне усихання, об'ємне усихання.

У зрубаний деревині, що перебуває на відкритому повітрі або у приміщенні, вологість зменшується. Такий процес має назву висихання деревини. При цьому волога випаровується з поверхні деревини і переміщується зсередини до поверхні. У процесі висихання деревини, внаслідок зниження вологості нижче рівня насичення клітинних стінок відбувається усушка. Вона