

УДК 691.6:621.791:666.1.037.42

Л.Я. Березін, канд. техн. наук

І.О. Прибитько, канд. техн. наук

Чернігівський державний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

СИТАЛИ, СКЛО В БУДІВНИЦТВІ І МАШИНОБУДУВАННІ ТА СПОСОБИ ЇХ З'ЄДНАННЯ

Представлені результати аналізу та досліджень процесів з'єднання ситалів, скла в будівництві та машинобудуванні з метою отримання нероз'ємних з'єднань з мінімальними залишковими напруженнями.

Ключові слова: ситали, скло, будівництво, машинобудування, зварювання.

Представлены результаты анализа и исследований процессов соединения ситаллов, стекла в строительстве и машиностроении с целью получения неразъемных соединений с минимальными остаточными напряжениями.

Ключевые слова: ситаллы, стекло, строительство, машиностроение, сварка.

Presents the results of the analysis and research of the processes of joining sitalles, glass in construction and mechanical engineering with a view to obtaining permanent joints with minimal residual tension.

Key words: sitalles, glass, construction, mechanical engineering, welding.

Постановка проблеми. Скло та ситали (склокристалічні матеріали) являють собою неорганічні матеріали широкого технічного призначення. На сьогодні відомо багато сфер використання скла і ситалів [1].

Найбільше використання знайшли: кварцове скло (марок КВ, КУ), силікатне скло з домішками бору (у вигляді B_2O_3 – боросилікатне), алюмінію (у вигляді Al_2O_3 – алюмосилікатне), ситали систем $Li_2O - Al_2O_3 - SiO_2$ і $MgO - Al_2O_3 - SiO_2$ з домішками TiO_2 (Ті як каталізатор кристалізації при виробництві силікатного скла). Отримання склокристалічної структури в ситалах дозволило зберегти оптичну прозорість матеріалу і, в той же час, суттєво підвищити міцність, твердість, жаростійкість та інші властивості.

У багатьох випадках постає завдання отримання нероз'ємних вузлів (з'єднання, що не допускають повторної операції складання та демонтажу), які використовуються у великогабаритних конструкціях. Отримання нероз'ємних вузлів зі скла і ситалів здійснюють за рахунок використання: глибокого оптичного контакту, склеювання, паяння, спікання і зварювання.

Глибокий оптичний контакт (ГОК) є одним із самих досконалих способів одержання нероз'ємних безклеєвих з'єднань оптичних елементів [2]. Він дозволяє міцно скріпити деталі, зберігаючи якості робочих поверхонь. ГОК заснований на силах молекулярного зчеплення поверхонь, що контактують, сполучною ланкою між якими служить плівка двоокису кремнію, що наноситься на одну або обидві поверхні. Зміни, що відбуваються в плівці кремнезему, приводять до взаємодії поверхонь, що контактують, і утворенню монолітного з'єднання, при якому границя між поверхнями, що контактують, зникає. Цей метод використовують при одержанні складних оптичних вузлів з декількох оптичних деталей.

Незважаючи на переваги, ГОК застосовується порівняно рідко, так як важко підбирати в пари деталі з поверхнями, що збігаються до $N \leq 0,5$ (допустимі відхилення поверхні плоскої деталі від площинності не більш $N = 0,2 - 0,5$), особливо на площах великого розміру. Складно також домогтися необхідної чистоти в повітрі і на робочому місці. Здійснення методу на практиці пов'язано з великими матеріальними витратами.

Сьогодні існує достатньо клеїв (на основі епоксидних і поліморфних смол) та технологій їх застосування, але треба зауважити, що поява деформацій у склеєних вузлах неминуча. Це обумовлено зміною об'єму і властивостей речовини, що клеїть, у процесі склеювання і при подальших термообробках, різними фізико-механічними характеристиками матеріалів деталей, що склеюються, і самого клею, зовнішніми навантаженнями, що прикладаються до склеєного вузла. Застосування для з'єднання деталей оптич-

них приладів клеїв не тільки знижує їхню властивість, а і властивості самого клею з часом при зберіганні за рахунок його «старіння».

Паяні (легкоплавкими та неметалічними припоями) з'єднання надійніші і твердіші клейових. У той же час слід зазначити, що якість паяного з'єднання визначається міцністю зв'язку припою з матеріалами основи. Ступінь надійності і довговічності спаю визначається насамперед значеннями напружень в області робочих температур. Однак різниця в температурних коефіцієнтах лінійного розширення (ТКЛР) матеріалів, що паяються, в інтервалі між температурою паяння і зоною робочих температур звичайно досить значна: напруження під час паяння і під час експлуатації можуть мати різні знаки.

Найбільших значень напруження досягають під час паяння різнорідних матеріалів. При виготовленні паяних конструкцій доводиться з'єднувати матеріали з різними фізико-механічними властивостями. Різниця в ТКЛР матеріалів деталей, що з'єднуються, веде до утворення в паяному шві внутрішніх температурних напружень. Чим більша різниця в ТКЛР, тим більші залишкові напруження виникають в з'єднанні після паяння. На рисунку 1 показано розподіл напружень у ситалових і кварцових пластинах спаяних зразків [3].

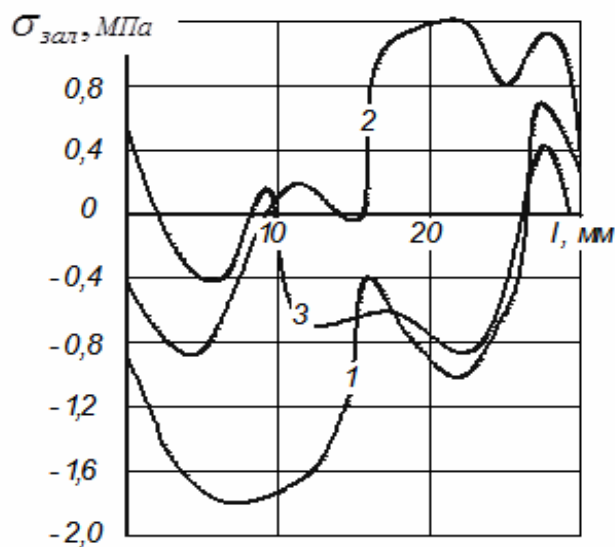


Рис. 1. Розподіл напружень уздовж паяного шва: 1 – у ситаловій пластині; 2 – у кварцовій пластині з'єднання ситал – кварц; 3 – у ситаловій пластині з'єднання ситал – ситал

Криві 1 і 2 отримані у вузлі, який було спаяно з кварцової і ситалової пластин, крива 3 – із двох ситалових пластин. Усі пластини мали розміри 30x20x12 мм і спаювалися припоєм зі свинцю з застосуванням пасти, що містить титан. Вимірювання напружень проводилося при кімнатній температурі (процес паяння – при 620 °С). Напруження, що виникають у спаяних зразках, розподіляються уздовж шва нерівномірно, постійно змінюються за величиною, а іноді і за знаком. Хоча по ТКЛР кварц (КУ-1) і ситал (СО-115М) відрізняються один від іншого незначно, з'єднання паянням приводить до вигину зразка: ситалова пластина в зоні паяння має напруження стиску, кварцова – розтягнення. Напруження досить великі, значно перевищують ті, що виникають при склеюванні в аналогічних умовах. Очевидно, тут дається в знаки більш широкий діапазон температурних змін і велика твердість матеріалу припою у порівнянні з клеєм.

У деяких випадках при склеюванні скляних виробів виникає місцеве (локальне) накопичення значних залишкових напружень у вигляді «вусів», що веде під час експлуатації таких вузлів до їх руйнування.

Зараз накопичено достатній експериментальний матеріал по вивченню механічних характеристик клейових та паяних з'єднань крихких матеріалів, таких якими є скло і си-

тали [4]. У цілому з'єднання, отримані за допомогою склеювання та паяння, мають необхідні експлуатаційні характеристики, але іноді вони не працездатні в режимах великих статичних і динамічних навантажень, вібрацій і високих температур та їх перепаду.

В останні десятиріччя ведуться спроби отримання працездатних вузлів зі скла і ситалів з використанням зварювання. Отримані позитивні результати зварювання скляних трубопроводів діаметром до 100 мм і товщиною стінки до 7 мм [4]. Найбільш відомі позитивні результати, отримані при виготовленні вузлів різних приладів з використанням дифузійного зварювання у вакуумі [5; 6], але і в цьому випадку є проблемою виникнення значних внутрішніх напружень у зоні зварного шва і відносно невелика міцність зварного з'єднання.

Мета та завдання роботи. Розробка процесу зварювання вузлів зі скла та ситалів, який би дозволяв суттєво зменшити внутрішні напруження в зоні зварного шва та підвищити міцність зварних з'єднань.

Виклад основного матеріалу досліджень. У ході дослідження використовувались: кварцове скло марки КВ-1, ситал СО-115М, алюміній марки А 999, хімічний склад та властивості яких наведено в таблицях 1-5.

Приклади вузлів, що зварювалися, наведені на рисунку 2.

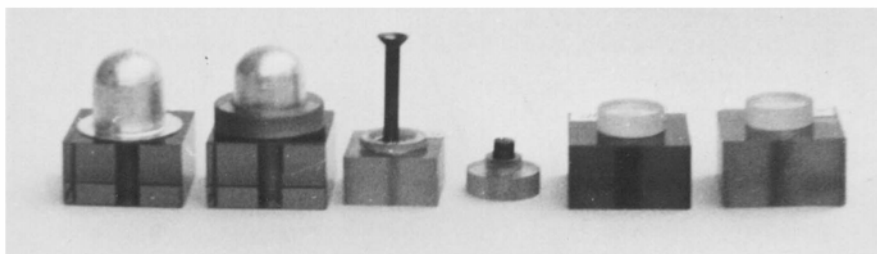


Рис. 2. Приклади зварних вузлів

Алюміній марки А 999 – алюміній особливо чистий. Хімічний склад його 99,9 % алюмінію.

Таблиця 1

Властивості алюмінію марки А 999

Властивість	Значення
Питома вага, г/см ³	2,7
Температура плавлення, К	933,46
Температура кипіння, К	2793
Середній ТКЛР в інтервалі 293-773 К, $\alpha \times 10^{-6}$, 1/К	27,7
Теплопровідність при 473 К, Вт/м·К	239
Питома теплоємність при 293 К, Дж/г·К	0,8974
Модуль пружності, ГПа	71
Границя текучості, кг/мм ²	500
Твердість, НВ	110

Таблиця 2

Хімічний склад кварцового скла марки КВ-1

Вміст, ваг. %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	CuO	TiO ₂
	основа		$3,5 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$

Таблиця 3

Основні фізико-хімічні властивості кварцового скла марки КВ-1

Властивість	Значення
ТКЛР $\times 10^{-7}$, 1/К	4 – 5,8
Модуль пружності, кг/мм ²	7360
Коефіцієнт Пуассона	0,17
Питома вага, г/см ³	2,21
Межа міцності на стиск, кг/мм ²	58,8
Межа міцності на розтяг, кг/мм ²	5,89

Таблиця 4

Хімічний склад ситалу СО-115 М

Вміст, ваг. %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	LiO ₂	KO ₂	Fe ₂ O ₃	As ₂ O ₃	Sb ₂ O ₃
	~67	20,9	~4	~4	3	0,1	0,5	0,5

Таблиця 5

Основні фізико-хімічні властивості ситалу СО-115 М

Властивість	Значення
ТКЛР $\times 10^{-7}$, 1/К	2,5 – 6,0
Модуль пружності, кг/мм ²	8600
Коефіцієнт Пуассона	0,27
Питома вага, г/см ³	2,5
Межа міцності на стиск, кг/мм ²	67
Межа міцності на розтяг, кг/мм ²	10
Температура кристалізації, К	1083

У процесі досліджень проводилося зварювання вузлів кварцове скло – ситал, ситал – ситал, ситал – алюміній. При отриманні вузлів кварцове скло – ситал, ситал – ситал використовували прошарок з алюмінію (1-2 мкм), який до зварювання наносили на одну з поверхонь, що зварюються, резистивним напилюванням на установці ВУ-1А. Під час зварювання вузлів кварцове скло – ситал напилювання проводили на поверхню кварцового скла.

Перед напилюванням зразки піддавали іонному очищенню при $T = 423$ К у вакуумі $4 \cdot 10^{-3}$ Па протягом 10-12 хв. Для напилювання використовували режим:

- вакуум не нижче $4 \cdot 10^{-3}$ Па;
- температура зразка 423 ± 10 К;
- струм випарника 500 – 530 А;
- час напилювання 30 – 40 с.

Під час зварювання ситалу з алюмінієм товщина алюмінію до зварювання h знаходилася в межах 0,25-3 мм, а після зварювання $h_{\text{П}}$ у межах 0,20-1,3 мм (рис. 4). Величини $h_{\text{П}}$ і h визначались шляхом прямих замірів за допомогою індикаторної стійки з індикатором годинникового типу з ціною поділок 1 мкм.

Поляризаційно-оптичні обстеження вузлів проводилися на приборі ПКС-250.

Міцність з'єднань ($\sigma_{\text{від}}$) визначалась під час випробувань на відрив як середнє арифметичне значення з п'яти дослідів. Механічні випробування проводили за схемою, що наведена на рисунку 3, на спеціально виготовленій установці, яка оснащена пристосуванням, що дозволяє усувати можливі перекося зварених зразків під час випробувань та визначати зусилля руйнування з точністю до 3,92 Н за допомогою силовимірника у вигляді динамометричної скоби ДС-02 з індикатором годинникового типу ИЧ-10.

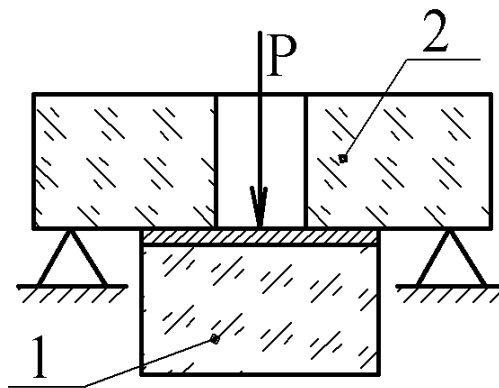


Рис. 3. Принципова схема механічних випробувань на відрив:
1 – ситал; 2 – скло (або ситал) з напиленим шаром алюмінію

Механічна обробка поверхні ситалу та кварцового скла для всіх видів досліджень включала операції шліфування та полірування. Шліфування проводили водними суспензіями карбиду кремнію зернистістю М 40, М 28, М 10 на сталевому диску, а полірування – суспензією оксидів заліза на смоляному полірувальнику. Мікрошорсткість поверхні зразків із ситалу та кварцового скла під зварювання складала $R_a \leq 0,02$ мкм. Після механічної обробки зразки піддавали хімічній комбінованій очистці за варіантом:

- очистка органічним розчинником – ацетон технічний;
- сушка;
- очистка хімічним розчином $\text{Na}_2\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ [50]+ KOH [10]+ Na_2CO_3 [20]+рідке скло;
- промивання гарячою водою;
- промивання холодною водою;
- очистка хімічним розчином $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ [99]+ H_2SO_4 ; густина 1,84; 100 см³;
- промивання гарячою водою;
- промивання холодною водою;
- сушка.

Безпосередньо перед зварюванням зразки із ситалу і кварцового скла обробляли технічним ацетоном.

Зварювання проводили в атмосфері повітря з використанням радіаційного джерела нагріву. Електрична напруга на матеріали, що зварюються, подавалась за допомогою регулятора напруги високовольтного джерела живлення УПУ-1М.

Зміна величини міцності зварного з'єднання $\sigma_{від}$ і товщини алюмінію після зварювання h_{II} від її початкової товщини h під час його зварювання з ситалом наведено на рисунку 4.

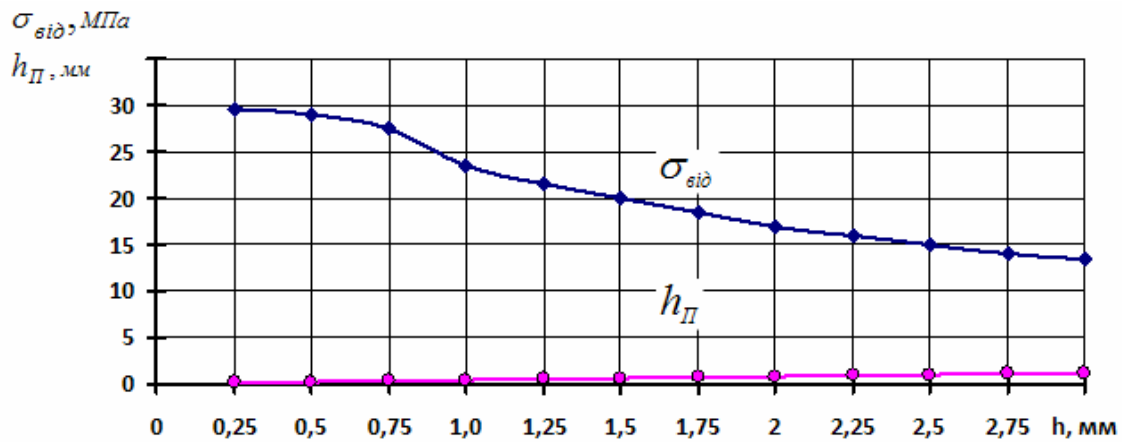


Рис. 4. Зміна міцності зварного з'єднання $\sigma_{\epsilon i \delta}$ і товщини прокладки після зварювання h_{Π} від початкової товщини алюмінію h

Величина залишкових напружень у проведених дослідженнях не перевищувала 1,45 МПа. Розподіл напружень у зоні з'єднання рівномірній. У місцях, де як правило з'являються локальні зони з підвищеною величиною напружень («вуса») під час паяння, склеювання і дифузійного зварювання, в нашому випадку були відсутні. В той же час аналогічні з'єднання, які одержані методом дифузійного зварювання у вакуумі, вже при товщині алюмінію 0,5 мм мають напруження стиску в зоні з'єднання більше 14 МПа, а при товщині алюмінію 1 мм і більше руйнуються ще в процесі зварювання.

Зміна величини залишкових напружень $\sigma_{зал}$ від початкової товщини прокладки h наведено на рисунку 5.

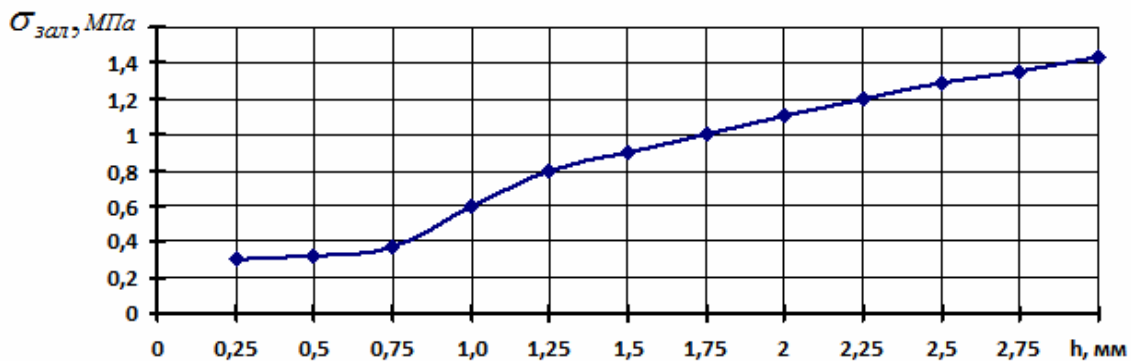


Рис. 5. Зміна величини залишкових напружень $\sigma_{зал}$ від початкової товщини алюмінію h

Для кращого сприймання отриманих результатів наведена таблиця 6.

Таблиця 6

Співвідношення товщини алюмінію до та після зварювання

h , мм	29,7	29,0	27,5	23,5	21,5	20,0	18,5	17,0	16,0	15,0	14,0	13,5
h_{Π} , мм	0,2	0,27	0,35	0,45	0,5	0,6	0,72	0,79	0,89	1,0	1,12	1,23

Зменшення товщини алюмінію є результатом дії зовнішнього тиску, що використовувався при зварюванні, та дії електростатичної взаємодії зарядів, що накопичуються в процесі зварювання на поверхнях, що зварюються, за рахунок поляризації діелектрика [7].

Використання компенсаційного кільця дозволяє на 30 % зменшити залишкові напруження в зоні з'єднання (рис. 6).

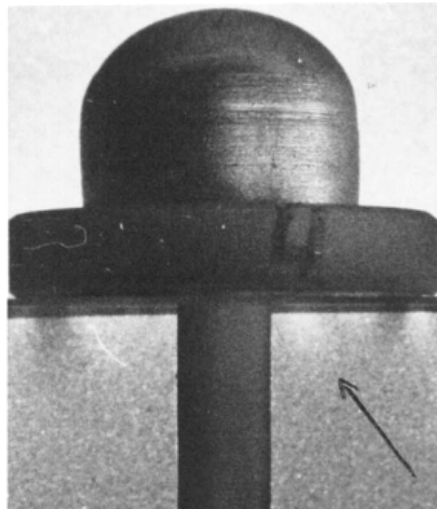


Рис. 6. Вузол алюміній – ситал з використанням компенсаційного кільця з ситалу

Залишкові напруження у вузлах ситал – алюміній – ситал і ситал – алюміній – кварцове скло, що були отриманні з використанням напиленого на одну з поверхонь діелектриків шару алюмінію товщиною 1-2 мкм, не перевищували 0,5 МПа.

Оптимальні режими зварювання вузлів, що розглядалися, наведені в [7].

Для зварних вузлів проводились такі випробування:

1. Повторні нагріви до 473-723 К.
2. Термоудари в камері тепла та холоду типу МС-71 по п'ять циклів тривалістю 1 година кожний. Температура змінювалась у межах 213-363 К.
3. Механічні діяння на вібростенді ВЕДС-400 та механічні удари на ударному стенді СТТ-500.
4. Поляризаційно-оптичні обстеження вузлів на приборі ПКС-250.
5. Перевірка на вакуумщільність на гелієвому шукачі течії ПТИ-10.

Випробування показали такі результати:

1. Всі зварені вузли витримали випробування на повторні удари, термоудари, механічні діяння.
2. Залишкові напруження в зоні зварного з'єднання не перевищували:
 - для вузлів ситал – алюміній величини 1,45 МПа;
 - для вузлів ситал – алюміній – ситал, ситал – алюміній – кварцове скло величини 0,5 МПа.
3. Всі зварені вузли після повторних нагрівів, термоударів і механічних діань залишилися герметичними.

Висновки:

1. Процес зварювання в зовнішніх електричних полях високої напруги дозволяє отримувати працездатні зварні з'єднання вузлів кварцове скло – ситал, ситал – ситал, ситал – алюміній з мінімальними залишковими напруженнями, які менші ніж в аналогічних випадках під час паяння, склеювання, спікання та інших способах зварювання.

2. Процес зварювання в зовнішніх електричних полях високої напруги дозволяє отримувати зварні з'єднання ситалу з алюмінієм товщиною до 3 мм при величині залишкових напружень менше 1,45 МПа.

3. Використання компенсаційного кільця у вузлах ситал – алюміній дозволяє зменшити величину залишкових напружень до 30 %.

4. Процес зварювання в зовнішніх електричних полях високої напруги дозволяє отримувати зварні з'єднання ситалу з ситалом і кварцовим склом через прошарок алюмінію 1-2 мкм при величині залишкових напружень менше 0,5 МПа.

Список використаних джерел

1. Бережной А. И. Ситалы и фотоситалы / А. И. Бережной; под ред. д-ра техн. наук Н. А. Торопова. – М.: Машиностроение, 1966. – 348 с.
2. Морозов И. А. Особенности соединения оптических элементов методом ГОКа / И. А. Морозов, Э. Н. Морозов, И. И. Юркевич. – Минск: Ин-т физики АН БССР, 1978. – 210 с.
3. Борисова В. Г. Вакуумплотные термостойкие спаи оптических элементов со стеклянными оболочками приборов / В. Г. Борисова, Е. Н. Покровский, В. Г. Цупкин // ОМП. – 1974. – № 9. – С. 36-39.
4. Конструкционная прочность стекол и ситаллов / Г. С. Писаренко, К. К. Амелянович, Ю. И. Козуб и др. – К.: Наук. думка, 1979. – 284 с.
5. Бачин В. А. Диффузионная сварка стекла и керамики с металлами / В. А. Бачин. – М.: Машиностроение, 1986. – 184 с.: ил.
6. Диффузионная сварка материалов: справочник / под ред. Н. Ф. Казакова. – М.: Машиностроение, 1981. – 271 с.
7. Березін Л. Я. Напрямки використання зовнішніх електричних полів для отримання нероз'ємних з'єднань різнорідних матеріалів / Л. Я. Березін // Вісник ЧДТУ. Серія «Технічні науки». – Чернігів, 2011. – № 4 (53). – С. 94-103.

УДК 667.633.26

Г.І. Голодюк, канд. техн. наук

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ АДГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ ТА АТМОСФЕРОСТІЙКОСТІ ЛАКОФАРБОВИХ ПОКРИТТІВ

У статті наведено результати досліджень адгезійної міцності та атмосферостійкості лакофарбових покриттів на основі алкідних смол. Наведено методiku та умови проведення досліджень контролю якості лакофарбових покриттів на основі алкідних смол. У результаті досліджень зразків лакофарбових покриттів, випробуваних прискореним методом, що імітує змінний клімат і сонячну радіацію, було визначено, що покриття чудово тримається на деревинній підкладці, зберігається цілісність покриття.

Ключові слова: атмосферостійкість, адгезія, алкідні смоли, лакофарбові покриття, якість, блиск.

В статье приведены результаты исследований атмосферостойкости адгезионной прочности и лакокрасочных покрытий на основе алкидных смол. Приведены методика и условия проведения исследований контроля качества лакокрасочных покрытий на основе алкидных смол. В результате исследований образцов лакокрасочных покрытий, испытанных ускоренным методом, что имитирует переменный климат и солнечную радиацию, было определено, что покрытие прекрасно держится на древесинной подкладке, хранится целостность покрытия.

Ключевые слова: атмосферостойкость, адгезия, алкидные смолы, лакокрасочные покрытия, качество, блеск.

In the article the results of researches of atmospheric stability of lakokrasochnykh are resulted on the basis of alkyd resins. A method and terms of conducting of researches of control of quality of lakokrasochnykh coverages is resulted on the basis of alkyd resins. As a result of researches of standards of lakokrasochnykh coverages of tested by a speed-up method, that imitates a variable climate and sun radiation, it was certain that coverage perfectly reposed on the wood lining, integrity of coverage is kept.

Key words: alkydnykh resins, lakokrasochnykh coverages, quality, brilliance.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Лакофарбові покриття забезпечують захист від дій зовнішнього середовища і покращують декоративні властивості деревних підкладок. Вплив повітря, сонячної радіації, вологи і різних температур більшою мірою впливає на ступінь стійкості лакофарбових покриттів.

Нові сучасні фарбувальні композиції на основі алкідних смол і лакофарбові покриття, зокрема, на основі алкідних смол, мають значно кращі показники експлуатаційних властивостей, характеризуються хорошою стійкістю до перепадів температури і сонячної радіації.

Аналіз основних досліджень. Перші роботи по визначенню атмосферостійкості лакофарбових покриттів відносяться до організації кліматичних операцій і проведення досліджень покриттів у природних умовах.