

УДК 621.78(075.8)

Т.Б. Жеплинський, О.К. Серкіз  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра хімічної технології силікатів

## МІКРОТВЕРДІСТЬ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ГАРТОВАНОГО СКЛА

© Жеплинський Т.Б., Серкіз О.К., 2013

Досліджено величину мікротвердості поверхневих шарів листового шестиміліметрового флоат-скла, гартованого контактним і повітряним методом, за допомогою травлення у суміші фторидної і сульфатної кислот. Встановлено, що величина мікротвердості залежить від методу гартування і товщини стравленого шару. Вибрано оптимальні параметри вимірювання величини мікротвердості шестиміліметрового листового флоат-скла та вказано, за якої товщини стравленого шару відбувається релаксація залишкових напружень.

**Ключові слова:** мікротвердість, умови вимірювання, методи гартування, навантаження на індентор, листове флоат-скло, травлення, релаксація напружень.

The value of microhardness of the surface layers of 6 mm float glass, tempered by contact and by air method by etching in a mixture of fluoride and sulfuric acids, is researched. It was established that the microhardness value depends on the method of tempering and thickness of the etched layer. The optimal parameters of the microhardness measure of 6 mm float glass are selected and thickness of the etched layer which causes the relaxation of residual tensions is indicated.

**Key words:** microhardness, measurement conditions, tempering methods, load on the indenter, float glass, etching, relaxation of tensions.

**Постановка проблеми.** Останнім часом все більше уваги приділяється питанням, пов'язаним з поверхнею листового скла, оскільки стан поверхні визначає основні експлуатаційні властивості цього конструктивного матеріалу [1]. Існує велика кількість методів підвищення міцності і покращення якості поверхні листового скла, одним із найпоширеніших з яких є гартування [2]. Серед різноманітних способів утворення на поверхні скла гартувальних напружень особливої уваги заслуговує енергоощадний контактний метод гартування скла [3, 4].

Для прогнозування потенційної експлуатаційної надійності скляних виробів використовуються різні експрес методи, вони дають можливість контролювати міцність скла на основі лише одного зразка, водночас як для визначення механічної міцності стандартними методами необхідно щонайменше 30–50 зразків. Тут найбільший інтерес представляє дослідження мікротвердості поверхні, оскільки вона дає змогу оцінити зв'язок механічних властивостей скла з їх будовою і не залежить від наявності поверхневих дефектів [5]. У роботі Іванова і Державіна [6] була встановлена кількісна залежність між міцністю і величиною мікротвердості.

У цій роботі дослідження мікротвердості скла поєднане із пошаровим травленням скла за допомогою суміші фторидної та сульфатної кислот. Це дає можливість ширше описати і порівняти властивості та структуру скла, гартованого традиційним повітряним методом і найперспективнішим контактним методом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженню поверхні гартованого скла присвячено низку робіт [2, 6, 9, 11]. Встановлено, що гартування дає змогу покращити термостійкість на 100–300 °С і збільшити міцність скла у 3 рази [9]. Окрім того, додаткове травлення поверхні гартованого скла дає змогу ще більше підвищити його міцність [8, 9]. У цьому разі важливим є питання вибору оптимальної товщини травленого шару, яка б забезпечувала підвищення міцності скла у разі збереження якості скляної поверхні. За даними Богуславського ця товщина становить 100–200 мкм [9]. Однак дані дослідження проводились на зразках скла, сформованого методом вертикального витягування. Сучасне листове скло відрізняється від скла ВВС як способом формування, так і хімічним складом [15] і тому потребує додаткового дослідження. Необхідно також пам'ятати, що під час травлення матиме місце релаксація залишкових гартувальних напружень, величина яких зумовлює експлуатаційну надійність скляних виробів. Усі ці фактори потребують ретельного дослідження.

Крім того, пошарове травлення дає можливість дослідити внутрішню структуру скла, оскільки в результаті дії навколишнього середовища, структура і склад поверхні листового скла значно змінюється та істотно відрізняється від об'єму [7].

**Мета роботи:** дослідити і порівняти величину мікротвердості поверхневих шарів листового скла, гартованого повітряним і контактним методами. А також виявити вплив хімічного травлення на процес релаксації залишкових напружень у склі.

**Експериментальна частина і результати досліджень.** Для пошарового дослідження величини мікротвердості шестиміліметрового листового скла було використано зразки скла, гартовані повітряним і контактним методами, у яких величина залишкових напружень становила 1,5 пор/см. На початку досліджувались властивості нетравленого скла. Оскільки волога на поверхні скла завдяки гідролітичному послаблюючому ефекту спричинює зменшення величини мікротвердості [10], зразки скла, перед визначенням мікротвердості, висушували у сушильній шафі за температури 100 °С з подальшим витриманням у ексикаторі протягом 30 хв. Згодом зразки скла травили у суміші концентрованих кислот і води в об'ємному співвідношенні  $\text{HF}:\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O} = 1:1:1,3$  протягом 1–25 хв. Мікротвердість визначали за допомогою мікротвердоміра ПМТ – 3 вимірюванням величини діагоналі відбитка, отриманого на поверхні дослідного зразка у разі проникання пірамідального алмазного індентора під навантаженням. Величина навантаження на індентор становила 30, 50, 100 і 200 г. Тривалість витримання у навантаженому стані – 5 с. Довжину діагоналі відбитка вимірювали за допомогою програми Ахіо. Наведені результати являють собою середнє значення із 20 уколів, нанесених у різних місцях поверхні скла. Величину залишкових напружень гартованого скла після кожного етапу травлення вимірювали за допомогою кварцового клину на полярископі-поляриметрі ПКС-250.

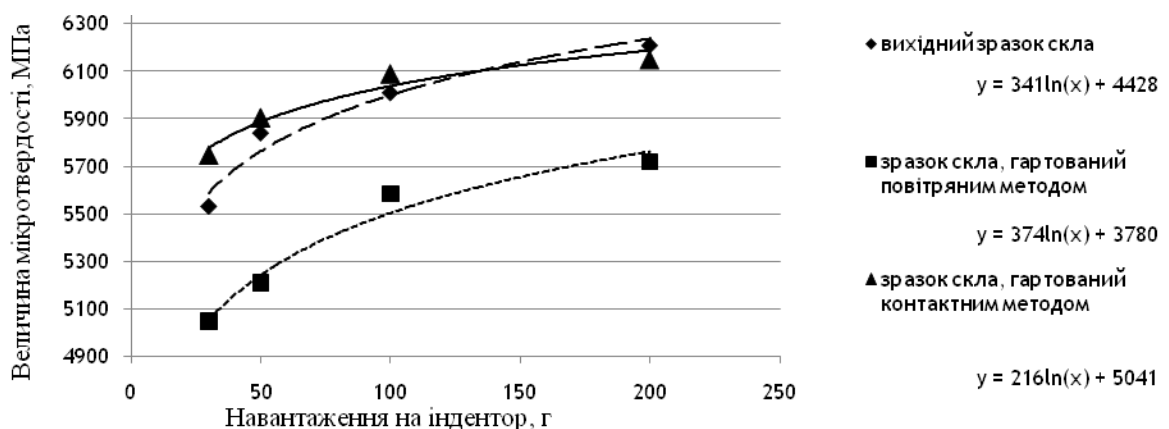


Рис. 1. Залежність величини мікротвердості від навантаження на індентор для шестиміліметрового листового скла

Результати досліджень вихідного зразка скла показали, що із збільшенням навантаження на індентор від 30 до 200 г (рис. 1) мікротвердість зростає на 12 % (від 5520 до 6210 МПа) і описується логарифмічною залежністю. У цьому разі також зростає і глибина проникнення індентора в товщу скла від 9,1 до 21,4 мкм (табл. 1).

Таблиця 1

**Залежність глибини проникнення індентора від навантаження за різних умов визначення**

| Зразки скла                                | Глибина проникнення, мкм    |      |      |       |
|--|-----------------------------|------|------|-------|
|  | Навантаження на індентор, г |      |      |       |
|  | 30                          | 50   | 100  | 200   |
| Вихідний зразок                            | 9,1                         | 10,9 | 15,4 | 21,4  |
| Зразок скла, гартований повітрям           | 10,3                        | 11,8 | 15,9 | 22,3  |
| Зразок скла, гартований контактним методом | 9,0                         | 10,8 | 15,3 | 21,55 |

Величина мікротвердості зразка скла, гартованого повітряним методом, виміряна за навантаження на індентор 200 г, дорівнює 5720 МПа і є меншою ніж у вихідному склі на 8 % (6210 МПа), що узгоджується із літературними джерелами [12–14]. Тому і глибина проникнення індентора у гартоване повітрям скло за однакових навантажень є більшою приблизно на 4 % (табл. 1). Як і у вихідному зразку скла, величину мікротвердості, що зростає із збільшенням навантаження на інденторі, описують логарифмічним рівнянням (рис. 1).

Як і у двох попередніх випадках, величина мікротвердості зразків скла, гартованих контактним методом, зростає із збільшенням навантаження на індентор і описується логарифмічним рівнянням. Але величина мікротвердості для зразка скла, гартованого контактним методом майже не відрізняється від вихідного зразка і дорівнює 6150 МПа (у вихідному 6210 МПа). Тобто, на відміну від методу гартування повітрям, контактний метод не призводить до зменшення мікротвердості поверхні скла.

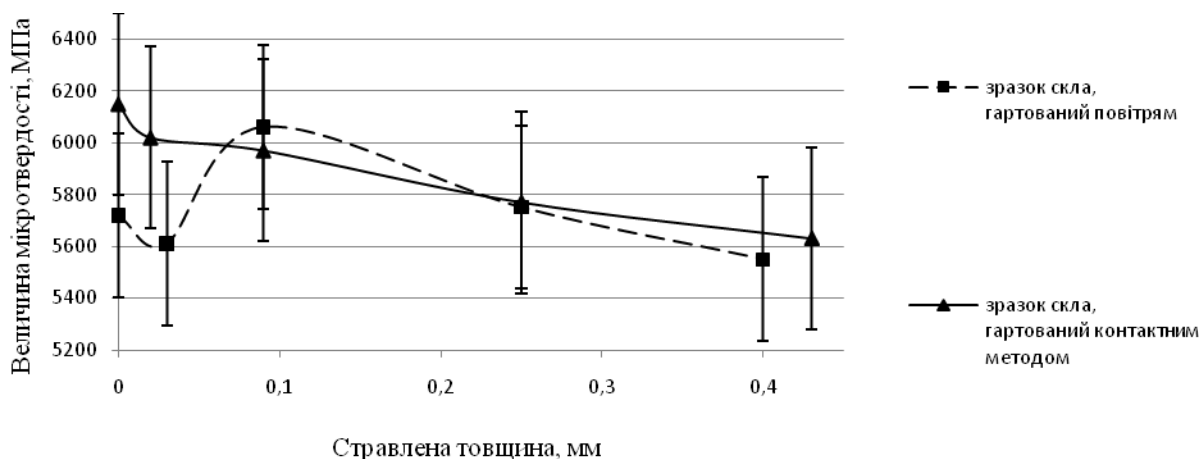


Рис. 2. Графік залежності мікротвердості від величини стравленого шару

Дослідження властивостей травленого скла показали, що травлення поверхні назагал призводить до зменшення величини мікротвердості (рис. 2) зразків, гартованих як повітряним, так і контактним методом. Однак під час стравлювання 0,09 мм товщини зразка скла, гартованого повітряним методом, спостерігаємо збільшення величини мікротвердості. Надалі мікротвердість травленої поверхні зменшується. Потрібно зазначити, що зменшення величини мікротвердості зразків скла, гартованих контактним методом, є рівномірнішим і менш стрімким.

Після кожного етапу травлення скла проводилось вимірювання величини залишкових напружень. Через те, що в літературі [2, 9] прийнято зображати епюри у вигляді залежності величини залишкових напружень від півтовщини скла, було побудовано такий самий графік щодо напружень, які залишились у склі після кожного етапу травлення (рис. 3).

Як бачимо з рис. 3, під час стравлювання 0,045 мм півтовщини (зміна півтовщини від 3,050 до 3,005 мм) величина напружень практично не змінилась, лише під час стравлення 0,125 мм півтовщини (зміна півтовщини від 3,050 до 2,925 мм) і більше буває релаксація залишкових напружень. Після стравлювання 1 мм півтовщини величина залишкових напружень зменшується на 70 % (від 1,5 пор/см до 0,47 пор/см).

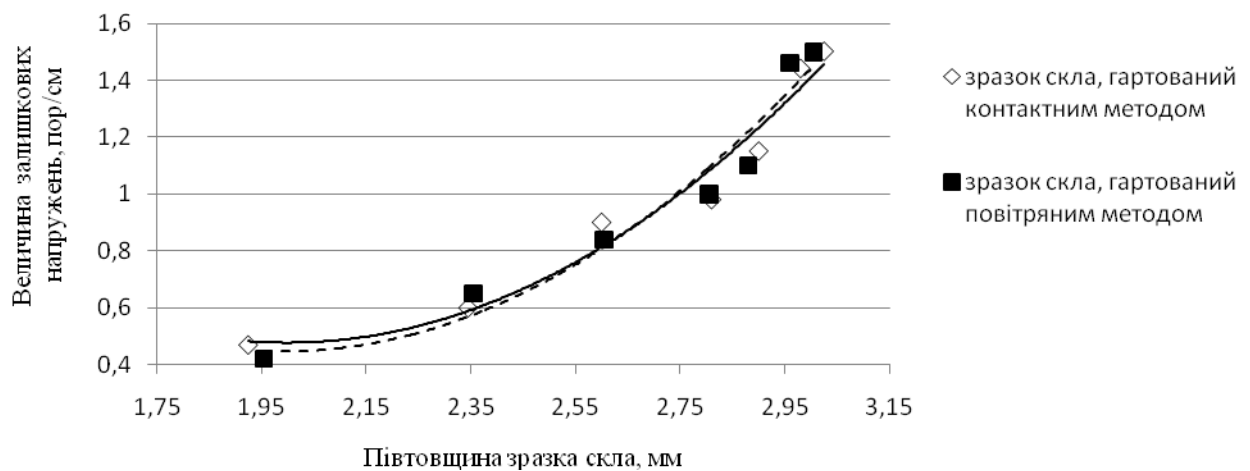


Рис. 3. Релаксація залишкових напружень в процесі травлення

Характер зміни величини залишкових напружень в процесі травлення описують параболічною кривою як для зразків скла, гартованих повітряним методом, так і для зразків скла, гартованих контактним методом. Процес релаксації зразків скла, гартованих повітряним і контактним методом, практично не відрізняється.

**Висновок.** Із збільшенням навантаження на індентор від 30 до 200 г величина мікротвердості зростає як у вихідному, так і гартованих зразках скла і описується логарифмічною залежністю. Величина мікротвердості зразків скла, гартованих повітряним методом зменшується на 8 %, а для зразків скла, гартованих контактним методом, залишається незмінною. Після травлення величина мікротвердості поступово зменшується як у вихідному, так і гартованому зразках. Травлення призводить до релаксації залишкових напружень, цей процес починається під час стравлювання більше ніж 0,125 мм півтовщини скла. Отже, контактний метод гартування не призводить до зменшення мікротвердості і тому є не лише економічно вигідним, а й забезпечує кращі властивості скла.

1. Кучера Я.Й. *Діагностика поверхні силікатного скла з використанням явища активованої термоемісії: автореф. дис. ... канд. техн. наук.* – Львів, 2004. 2. *Термічне оброблення і напруження у склі: підручник / С.І. Дяківський, Т.Б. Жеплинський, Й.М. Яцишин; За ред. Й.М. Яцишина.* – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2003. – 196 с. 3. Патент на винахід № 84517. *Спосіб гартування скла / Т.Б. Жеплинський, З.І. Боровець, М.Я. Головчук* 27.10.2008. Бюл. № 20, 2008 р. 4. Патент на корисну модель № 57362. *Спосіб гартування скла / Т.Б. Жеплинський, Р.М. Шеремета, З.І. Боровець, М.М. Ковальчук* 25.11.2009. Бюл. № 22, 2009 р. 5. Ainsworth L.J. *Soc. GlassTechn.* 1954, №10. 6. Иванов А.В., Державин С.Н. *Исследование связи между прочностью и микротвердостью оптических стекол // Оптико-механич. пром.-сть.* – 1978. – № 10. – С. 37–39. 7. Mellott N.P., Brantley S.L., Hamilton J.P., Pantano C.G. *Evaluation of surface preparation methods for glass // Surf. Interface Anal.* 2001; 31: 362–368 8. Витман Ф.Ф., Берштейн В.А., Пух В.П. // *Прочность стекла.* – М.: Мир, 1969. – С. 7–30. 9. Богуславский И.А.

*Высокопрочные закаленные стекла. – М.: Стройиздат, 1969. – 207 с. 10. HaixiaShang, TanguyRouxel. CreepBehaviorofSoda-LimeGlassinthe 100-500 KTemperatureRangebyIndentationCreepTest. J. Am. Ceram. Soc., 88 [9] 2625–2628, 2005. 11. Бокин П.Я. Механические свойства силикатных стекол. – Ленинград: Наука, 1970. – 177 с. 12. Керкхоф Ф., МохирисаХара. Repts.Res.Lab. AtahiGlassCo, 12, 1962. 13. GrodzinskiP. GlasstechnBerishte. 26, 1963, № 10. 14. Богуславський І.А., Пухлик О.І. “Стекло” Бюллетень ГИС, 1961. – № 4. 15. Ятчишин Й.М., Вахула Я.І., Жеплинський Т.Б., Козій О.І. Технологія скла у трьох частинах: Ч.І. Технологія скляних виробів: Підручник. – Львів: Видавництво “Растр-7”, 2011. – 416 с.*

УДК 666.646

**І.В. Солоха, М.Г. Пона, З.І. Боровець, Л.С. Кучарська**  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра хімічної технології силікатів

## **ВПЛИВ ЕЛЕКТРОЛІТІВ НА РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ШЛІКЕРІВ ІЗ ГЛИН РІЗНОГО МІНЕРАЛОГІЧНОГО СКЛАДУ**

© Солоха І., Пона М., Боровець З., Кучарська Л., 2013

**Подано експериментальні дослідження регулювання реологічних властивостей шлікерів за допомогою використання до глин добавок мінеральних і організовмісних електролітів у технології кераміки.**

**Ключові слова:** кераміка, електроліти, реологія, в'язкість, шлікер.

**The experimental researches of regulation of rheology properties of clay mixture by using to clays the additives of mineral and organiccontained electrolytes in ceramics technology are given.**

**Key words:** ceramics, electrolytes, rheology, viscosity, clay mixture.

**Постановка проблеми.** Впровадження сучасних технологій формування керамічних виробів шлікерним литвом, зокрема формування виробів у полімерних формах, а також необхідність підвищення якості продукції визначають нові вимоги до ливарних шлікерних мас.

Сьогодні в Україні як понижувачі в'язкості шлікерів використовують переважно: соду, розчинне рідке скло і поліфосфати натрію. Використання цих речовин здебільшого не дає бажаних результатів в одержанні шлікерів з заданими реологічними властивостями. Ці хімічні препарати дають вузький інтервал розрідження, сповільнюють фільтрацію, ускладнюють відокремлення відливок від форм. Крім того, якість шлікера, який приготовлений із застосуванням цих розріджувальних речовин, значною мірою залежать від якості сировини, яку використовуємо, її хімічного, мінералогічного і гранулометричного складу, наявності водорозчинних солей, залишкових електролітів і характеру обмінних іонів [1].

Одним із ефективних методів покращення властивостей шлікерних мас для литва є оптимізація складів мас і добавок електролітів з урахуванням структурно-механічних і деформаційних характеристик глинистих порід, які використовують як основні сировини [2].

Дослідження, направлені на розроблення технології використання розріджувачів, які дають змогу значно покращити реологічні властивості керамічних шлікерів із глинистих порід різного мінералогічного складу і мас на їх основі, є актуальним питанням.

**Аналіз досліджень та публікацій.** В'язкість глинистої суспензії або керамічного шлікера набула великого промислового значення у технології литва. Для отримання якісної відливки в