

Винахід відноситься до області визначення механічних характеристик матеріалів, а саме - до визначення параметрів міцності скла і може бути використаний для визначення довготривалої міцності скла та надійності скловиробів таких, як склооболонки електровакуумних приладів, склоізолятори, скловолоконні світловоди тощо, для заданого часу експлуатації.

Однією з головних проблем контролю якості скловиробів є визначення їх надійності за міцністю на заданий час експлуатації при заданому статичному навантаженні.

Відомий спосіб визначення довготривалої міцності скловолокон при заданих фіксованих напруженнях одновісного розтягу [Проктор Б., Уитни И. и Джонсон Дж. Прочность плавленого кварца: В сб. Прочность стекла / Под. ред. В.А. Степанова. - М.: Мир, 1969]. Цей спосіб неможливо реалізувати для об'єктів які перебувають при двовісному чи тривісному напруженому стані.

Найбільш близьким до винаходу за технічною суттю є метод визначення міцності круглих склопластин (склодисків) при їх навантаженні осесиметричним згином за допомогою циліндро-призматичних пуансона та опори [Пух В.П. Прочность и разрушение стекла. - Л.: Ленигр. отд изд-ва "Наука", 1973. - 156с.]. За цим методом тонкий диск радіусом r_3 і товщиною H розміщують осесиметрично на призматичну кільцеву опору радіусом r_2 і збільшують навантаження з постійною швидкістю з протилежної сторони призматичним кільцевим пуансоном радіуса r_1 .

Цей спосіб дозволяє визначати міцність скла при заданій швидкості навантаження і не дозволяє визначити довготривалу міцність при заданому статичному навантаженні.

Метою винаходу є забезпечення можливості визначення довготривалої міцності скла, що відповідає заданій ймовірності не руйнування (надійності) в залежності від часу дії статичних напружень всебічного плоского розтягу.

Поставлена задача вирішується тим, що випробовують методом осесиметричного згину декілька серій (5-6 серій) зразків, що мають форму тонких пластин (круглих або квадратних). Кожну серію, яка містить не менше 50-ти ідентичних зразків випробовують при заданому фіксованому навантаженні, яке обумовлює заданий рівень напружень 10-100МПа всебічного розтягу на базовій площинці s_0 . Витримують навантаження до руйнування пластини, але не довше фіксованого проміжку часу, не меншого 3600 секунд. Для кожної пластини реєструють проміжок часу з моменту прикладення навантаження до руйнування. Для кожної серії випробувань визначають середнє значення логарифму часу до руйнування і його середньоквадратичне відхилення. Визначають залежність довготривалої міцності від часу t для заданої ймовірності неруйнування (надійності) за формулою

$$S_R = \frac{\sum_{v=1}^c [\mu_v + g(R)D_v]^2 \sum_{v=1}^c \sigma_v - \sum_{v=1}^c [\mu_v + g(R)D_v] \sum_{v=1}^c [\mu_v + g(R)D_v] \sigma_v}{\sum_{v=1}^c [\mu_v + g(R)D_v]^2 - \left\{ \sum_{v=1}^c [\mu_v + g(R)D_v] \right\}^2} + \frac{\sum_{v=1}^c [\mu_v + g(R)D_v] \sigma_v - \sum_{v=1}^c [\mu_v + g(R)D_v] \sum_{v=1}^c \sigma_v}{\sum_{v=1}^c [\mu_v + g(R)D_v]^2 - \left\{ \sum_{v=1}^c [\mu_v + g(R)D_v] \right\}^2} \lg t; \quad (1)$$

де S_R - довготривала міцність скла при надійності R , v - порядковий номер серії, c - кількість серій, μ_v - середнє значення логарифму часу до руйнування v -ої серії, D_v - його середньоквадратичне відхилення, $g(R)$ - квантиль незміщеного нормального розподілу для надійності R , σ_v - напруження розтягу, при якому здійснювали випробування v -ої серії.

Для проведення випробувань зразка (Фіг.1) на площинці - 5 (на вертикальному перерізі показана пунктиром) однієї з поверхонь зразка - 1, встановленого на призматично-кільцеву опору - 2 та навантаженого зусиллям F через призматичний кільцевий пуансон - 3 та поліхлорвінілові прокладки - 4, виникає плоский однорідний стаціонарний напружений стан всебічного розтягу.

Напруження σ на площинці 5 визначається для круглих пластин за формулою

$$\sigma = B \frac{F}{H^2}, \quad (2)$$

де F - прикладене до пуансона зусилля, H - товщина диска,

$$B = (3/2\pi) \left\{ (1-v) \left(r_2^2 - r_1^2 \right) / 2r_2^2 \left(r_2^2 / r_3^2 \right) + (1+v) \ln(r_2 / r_1) \right\}$$

v - коефіцієнт Пуассона, $r_3 \geq 10r_1$; $0,6r_1 \leq H \leq 0,8r_1$; $r_2 = 2r_1$, $s_0 = \pi r_1^2$.

У випадку квадратних пластин еквівалентну r_3 величину приймають такою: $r_3 = \left[a(1 + \sqrt{2}) / 4 \right]$ де a - розмір сторони квадратної пластини.

Завдяки такому навантаженню всі мікроефекти - 6 на поверхні скла перебувають в однакових умовах нормального розтягу незалежно від кута їх орієнтації.

Скло, як аморфний крихкий матеріал руйнується під дією прикладених напружень розтягу внаслідок зростання у глибину одного з найбільш небезпечних мікроефектів. На руйнування впливає також структура скла (локальні напруження розтягу та стиску, інші мікроефекти) на шляху росту мікроефекту. Простий однорідний напружений стан σ на площинці 5 дозволяє визначити мінімальну довговічність τ_i кожного зразка; не вдаючись до ідентифікації визначення мікроефектів, їх розмірів, структури й міцнісних властивостей матеріалу на шляху їх поширення.

За результатами випробувань у кожній серії визначають оцінку ймовірності руйнування \tilde{W}_i за проміжок часу τ_i за формулою:

$$\tilde{W}_i = \frac{n_i}{N_v + 1}, \quad (3)$$

де n_i - кількість зруйнованих дисків за проміжок часу τ_i , N_v - кількість зразків у v -ій серії.

Приймаючи закон розподілу довговічності зразків при фіксованому напруженні логнормальним, для кожного

\tilde{W}_i знаходять квантиль g_i незміщеного нормованого нормального розподілу ймовірності, як розв'язок рівняння

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{g_i} e^{-u^2/2} du = \tilde{W}_i, u \equiv \lg \tau_i, \quad (4)$$

або за таблицями.

За методом найменших квадратів (МНК) апроксимують знайдену залежність g_i від $\lg \tau_i$ прямою лінією.

$$g_i = \hat{a} + \hat{b} \lg \tau_i, \quad (5)$$

де \hat{a} - квантиль g_i при $\lg \tau_i = 0$, \hat{b} - тангенс кута нахилу залежності (5).

Як впливає з фіг. 2 залежність квантиля нормального розподілу для проведених 5-ти серій зразків достатньо точно апроксимується прямими лініями. Це означає, що прийнята гіпотеза про логнормальний закон розподілу довговічності зразків підтверджена експериментально.

За знайденими оцінками параметрів \hat{a} та \hat{b} розраховують оцінки математичного сподівання логарифму довговічності $\hat{\mu}_v$ та середньоквадратичне відхилення цього логарифма \hat{D}_v для кожної v -ї серії з N_v дисків за формулами

$$\hat{\mu}_v = -\hat{a}/\hat{b}, \quad (6)$$

$$\hat{D}_v = 1/\hat{b}, \quad (7)$$

де v - порядковий номер серії, $v = \overline{1, c}$, c - кількість серій.

Далі визначають методом найменших квадратів залежність довготривалої міцності скла S_R від часу t при надійності неруйнування R за формулою (1), де μ_v - визначають за формулою (6), D_v - з формули (7), σ_v - напруження розтягу, при якому здійснювали випробування v -ої серії, $g(R)$ - квантиль незміщеного нормального розподілу для надійності R - приведено в таблиці 1.

Як показали експерименти і розрахунки для визначення залежності (1) необхідно взяти кількість серій c не меншу 5-ти, а кількість зразків в серії $N_v \geq 50$. Це необхідно, щоб отримати кількість інформативних точок

$i_{\max} \geq 10$, при різних значеннях σ_v . Величини σ_v для різних марок скла вибирають з діапазону 10-100 МПа.

Метод дозволяє прискорено визначити залежність (1), враховуючи, що зона переходу від короточасної до довготривалої міцності знаходиться в звичайних умовах температури та вологості навколишнього середовища ($T^0=18-25^\circ\text{C}$ і $H_c=60-98\%$) в інтервалі від 30сек. до 100сек., тобто при $\lg t = 1,5 \div 2,0$. Тому фіксований проміжок часу витримки зразків достатній до 3,600сек.-10,000сек. ($\lg t = 3,5 \div 4$) щоб виявилась залежність (1) для 5-ти точок μ_v та D_v в інтервалі $\lg t$ від 2,0 до 3,5. Це значно зменшує затрати проведення випробувань.

Слід врахувати, що залежність (1) справедлива коли $\lg t > 2$, а міцність S_R більша критеріальної міцності S_c , за якої довговічність τ прямує до безмежності. Для неорганічного скла з полірованими поверхнями при товщині $H=1,5-2,5\text{мм}$ і розміром базової площинці $S_0=10-20\text{мм}^2$ в нормальних умовах навколишнього середовища $S_c=10\text{МПа}$.

Приклад використання запропонованого способу визначення залежності довготривалої міцності S_R від часу t .

П'ять серій дисків зі скла марки С52-1 випробовували при температурі $T^0=22-25^\circ\text{C}$ та відносній вологості $H_c=96-98\%$. Розміри дисків: $r_3=28\text{мм}$, $H=1,7-2,1\text{мм}$, поверхні дисків механічно поліровані.

Кожну серію випробували при вказаних в таблиці 2 напруженнях σ_v , які визначали за формулою (2), розміри навантажуючого пристрою $r_1=2,5\text{мм}$, $r_2=5\text{мм}$. В цій же таблиці для кожної серії вказана кількість дисків N_v та значення n , j_{\max} та n , де n - кількість дисків, що зруйнувались за час $t \leq 1\text{сек.}$ ($\lg t \leq 0$), n - кількість незруйнованих дисків за час $T_t=3600\text{сек.}$

Визначивши оцінку ймовірності руйнування \tilde{W}_i за формулою (3) та квантиль ймовірності руйнування g_i з формули (4) для кожного i -того зруйнованого диску ($i = \overline{1, i_{\max}}$) в кожній серії будують залежності (5), які приведені на Фіг.2 і підраховують МНК коефіцієнти \hat{a}_v та \hat{b}_v , а також значення параметрів $\hat{\mu}_v$ та \hat{D}_v з формул (6) та (7), які приведені в таблиці 2.

Залежність (1), підрахована МНК для двох значень надійності $R=0,5$ та $R=0,99$, приведена на Фіг.3, при цьому відповідно з таблицею 1 $g(R)=0$ та $g(R)=-2,326$.

Таким чином:

$$S_{R=0,5}=63,27-3,074 \lg t (\text{МПа});$$

$$S_{R=0,99}=46,22-1,995 \lg t (\text{МПа}).$$

Запропонований спосіб дозволяє визначити довготривалу міцність скла на розтяг із заданою надійністю при заданому часі навантаження.

Таблиця 1

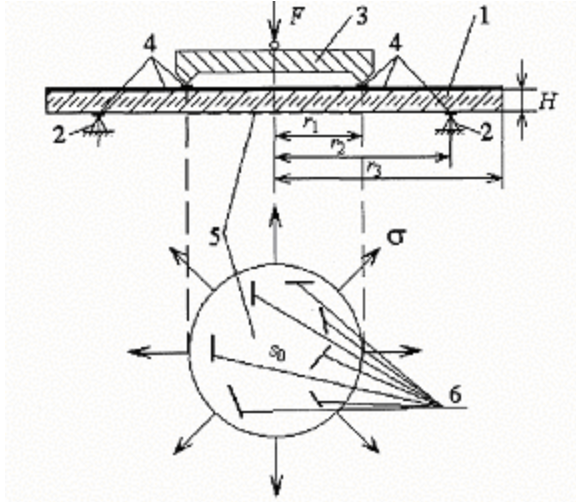
Спосіб визначення міцності скла

R	0,5	0,8413	0,9	0,95	0,99	0,999	0,9999
G(R)	0	-1,000	-1,282	-1,645	-2,326	-3,090	-3,719

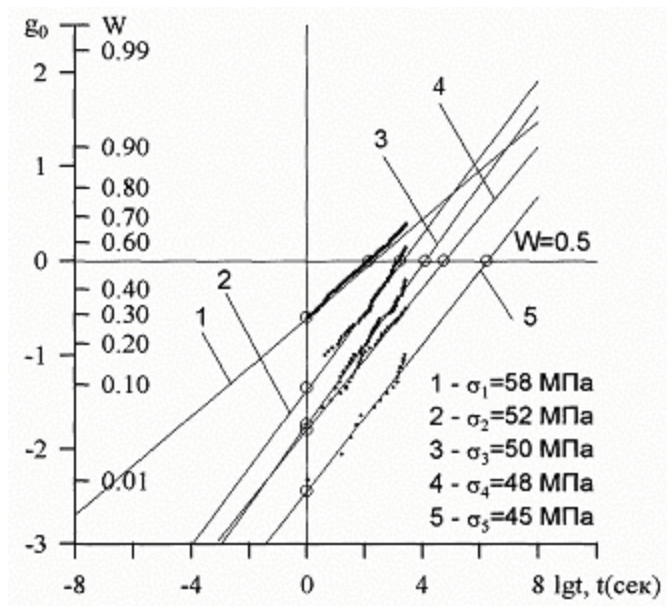
Таблиця 2

Спосіб визначення міцності скла

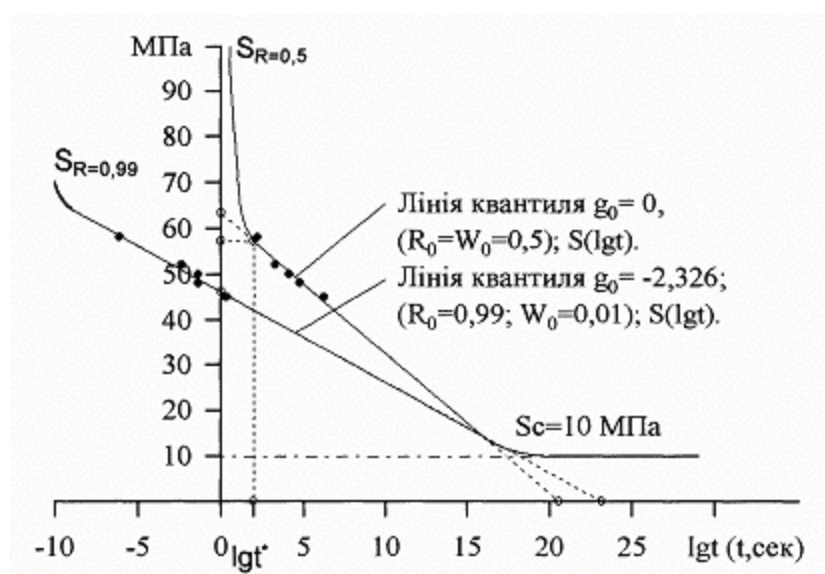
Серія v	σ_v , МПа	N_v , шт.	n^* , шт.	i_{\max} , шт.	n , шт.	\hat{a}_v	\hat{b}_v	$\hat{\mu}_v$	\hat{D}_v
1	58	334	90	128	116	-0,608314	0,280657	2,1675	3,5631
2	52	100	15	41	44	-1,346919	0,410225	3,2834	2,4377
3	50	100	8	34	58	-1,741201	0,423006	4,1163	2,3640
4	48	100	5	26	69	-1,800195	0,376470	4,7818	2,6562
5	45	100	0	16	84	-2,444788	0,390267	6,2642	2,5621



Фиг.1



Фиг.2



Фіг.3