

## Модернізація каналів подачі розподільника розплаву скломаси лінії виробництва склотари

Жирнова А. Ю., студ., Шилович І.Л., к.т.н., доц.  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

*Виконані розрахунки, що обґрунтовують процес грануляції шихтових матеріалів для впровадження в технологію виробництва склотари.*

**Ключові слова:** елеватор, гравітаційне розвантаження, тяговий вузол, натяг стрічки.

**Вступ.** Безпосередня подача порцій розплавленого скла («гобів») від розподільчої частини скловарної печі до формувальної машини забезпечується механічним розподільником, складовою частиною якого є нахилені жолоби специфічної геометрії. Головним фактором на думку авторів [1], що впливає на якість порції розплаву є конструкція і, зокрема, геометрії саме жолоба, який забезпечує рух розплаву до форми. Якісна порція розплаву повинна мати однорідну форму та визначену довжину.

Забезпечення перерахованих вище факторів пропонують автори [2] за рахунок визначеної геометрії, що базується на кривих Безье – параметрично заданих кривих, що використовуються у комп'ютерній графіці та суміжних галузях. Автори [2] спроектували профіль жолоба, який включає лише 8 ключових точок і визначається формулою:

$$F(z) = (1 - z)^3 c_4 + 3(1 - z)^2 c_3 + 3(1 - z)z^2 c_2 + z^3 c_1 \quad (1)$$

де  $z$  - вертикальна координата. Коефіцієнти  $C_1, C_2, C_3, C_4$  визначаються з експерименту у відповідності до типу скломаси, виробничої потужності, маси крапель розплаву і т.ін. Ці параметри також є геометричною прив'язкою критичних точок кривої до горизонтальної координати. З аналізу роботи [2] коефіцієнти у формулі кривої вибрані як відношення довжин робочих ділянок кривої, а саме: 1,4:5:7,5:14,4. Тоді у узагальнених координатах крива має вигляд, як показано на рис.1. Висота і довжина прийняті за 1.

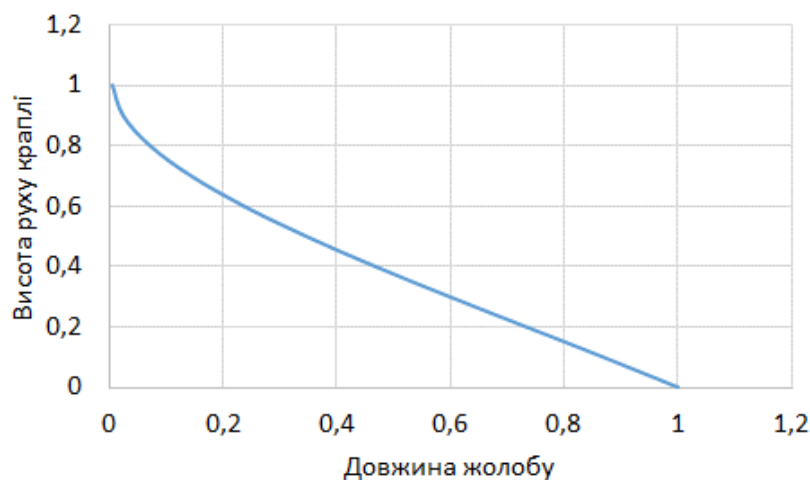


Рисунок 1 – Геометрична форма жолобу подачі скломаси

Іншим важливим фактором, що визначає працездатність металевої конструкції жолоба є його термостійкість по відношенню до впливу розплаву. Принципова конструкція жолобу згідно [2] може бути описана, як нахилений канал U – подібного профілю у поперечному перетині, по якому рухаються окремі краплі розплаву із швидкістю 3,5...4,5 м/с. Таким чином, у тепловому відношенні можна вважати, що жолоб сприймає нагрівання практично безперервним потоком

розплаву з огляду на досить високу інерційність теплових процесів [3]. Тому робоча температура металеві конструкції жолоба визначається простим балансовим рівнянням:

$$M \cdot c_p^g \cdot t_m \cdot \tau_0 = m \cdot c_p^{st} \cdot (t_2 - t_1) \quad (2)$$

де  $M$  – масові витрати скломаси, кг/с;  $c_p^g, c_p^{st}$  – відповідно, теплоємкості скломаси і металу, Дж/(кг К);  $t_m$  – температура розплаву, °С;  $\tau_0$  – час виходу розподільника на робочий режим, с;  $m$  – маса робочої частини жолоба, кг;  $t_1, t_2$  – відповідно початкова і кінцева температури жолоба, °С.

З рівняння (2) визначається кінцева температура жолоба в кінці стартового режиму. З огляду на дані джерел [4,5] робоча температура розподільника становить (180...200)°С.

Важливим етапом інженерної оцінки працездатності жолоба є розрахунок температурного поля і напружень частини жолоба, що контактує з розплавом скла. З цією метою створена 3D модель половини перетину жолоба довжиною, що відповідає лінійному розміру краплі розплаву.

Термонапружений стан змодельований в програмі ANSYS у розділі Thermal Stress за умови нестационарного режиму прикладання навантаження. Теплова задача розв'язувалась у межах аналізу Transient Conductivity для робочої частини жолоба. ГУ включали задання теплообміну на зовнішніх поверхнях жолоба. У перетинах прийняті умови симетрії. В охолоджувальному повітряному каналі в середині жолоба задавалися умови конвективного теплообміну у відповідності до технологічних умов експлуатації. На робочій поверхні жолоба задавалася щільність теплового потоку від краплі розплаву у відповідності до рекомендацій дослідників [6,7]. Результати розрахунків показані на рис.3,4.

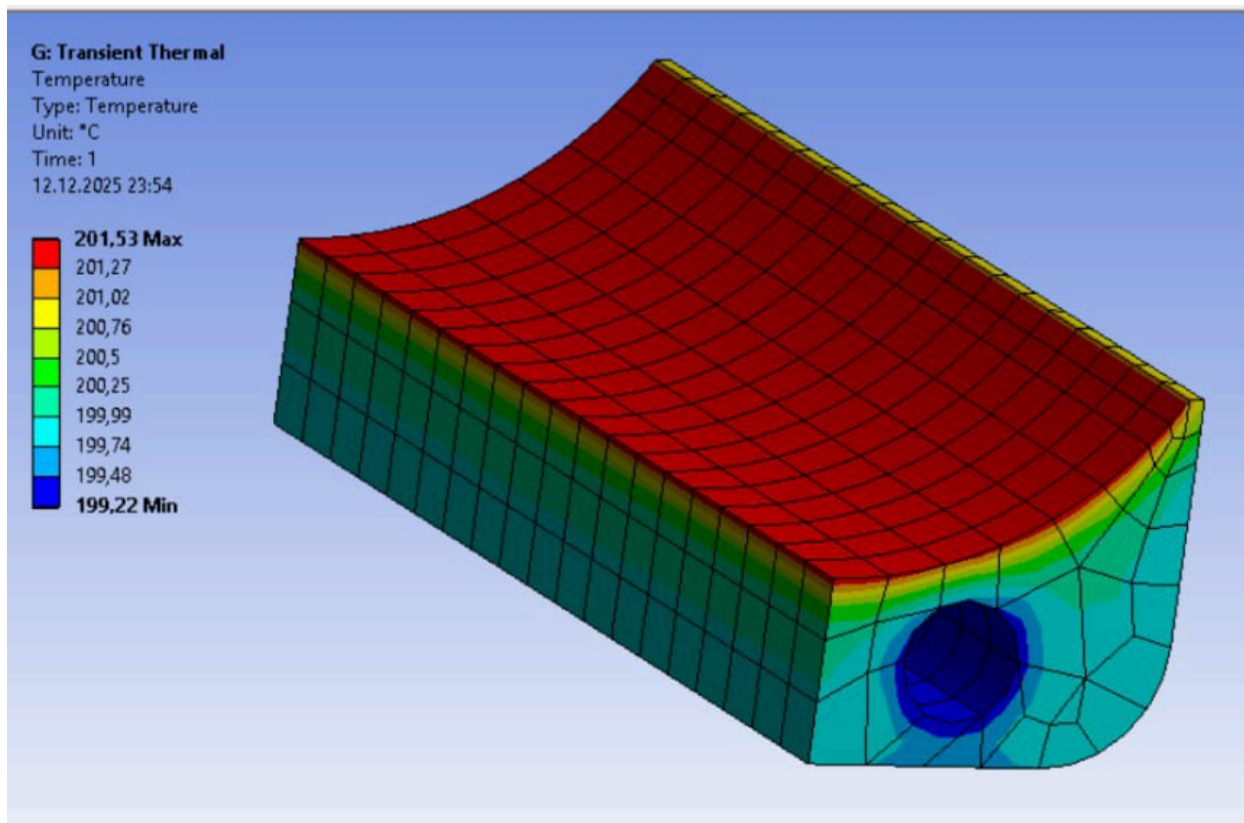


Рисунок 3 – Температурне поле частини жолоба при нагріванні, °С

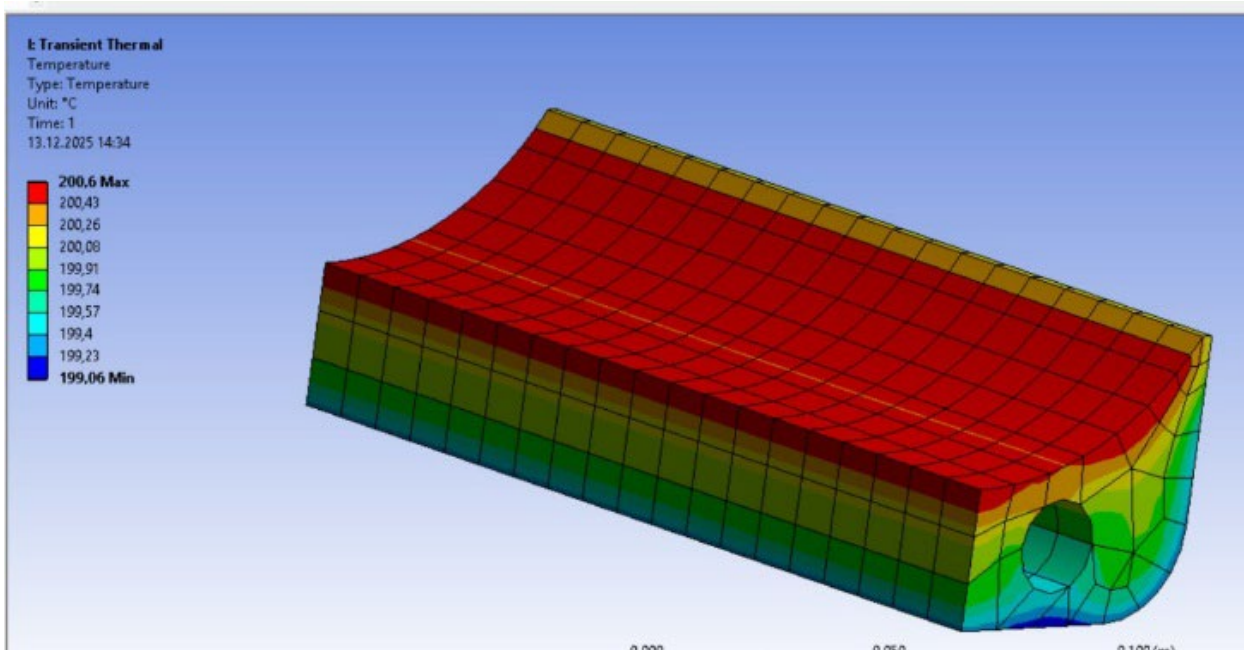


Рисунок 4 – Температурне поле частини жолоба при охолодженні, °C

Оцінка рівні температур і вигляду температурного поля показує деяку відмінність у розподілі ізотерм і невелику відмінність рівня температур, що пояснюється принципово відмінним напрямком і величиною теплових потоків при нагріванні і охолодженні. Загальний рівень температур змінюється несуттєво, що витікає з природи теплових процесів, які відрізняються значною інерційністю.

Термічні напруження показані на рис. 5, 6.

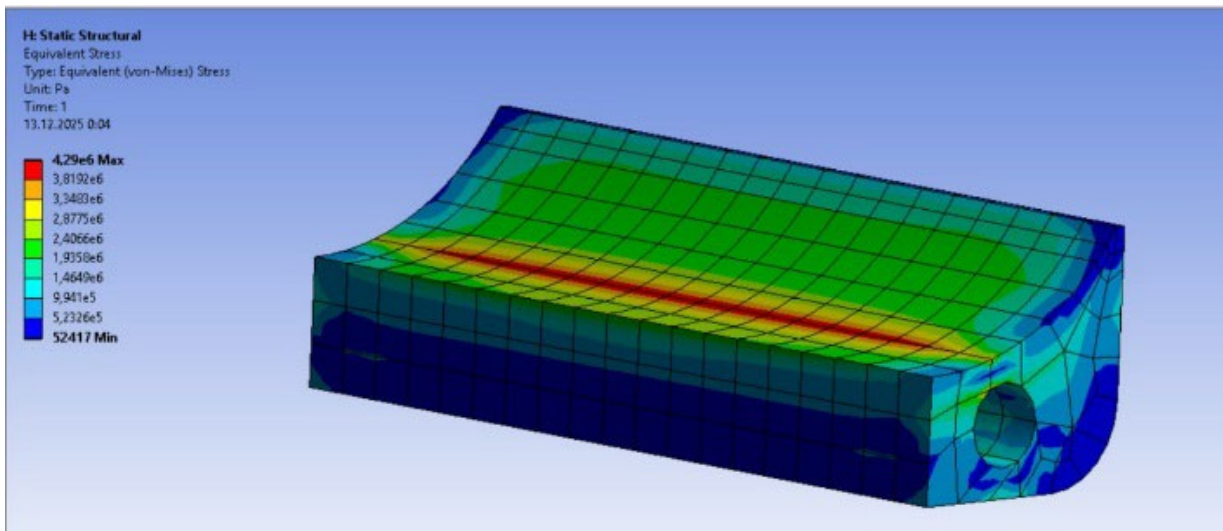


Рисунок 5 – Еквівалентні напруження (по фон Мізесу), МПа; режим нагрівання

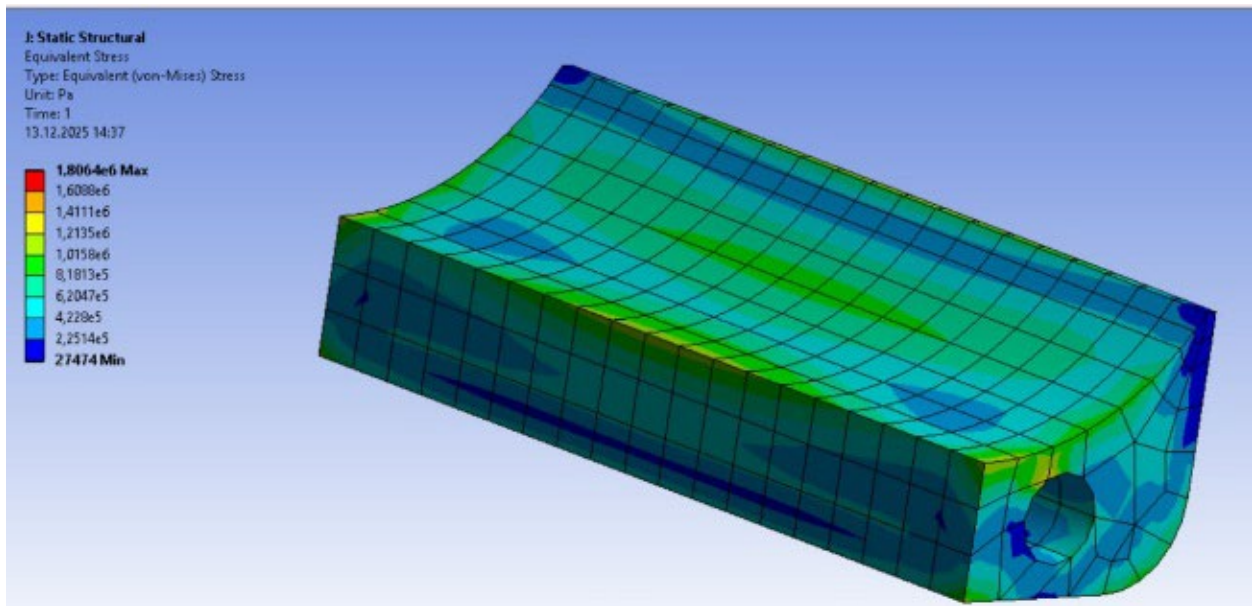


Рисунок 6 – Еквівалентні напруження (по фон Мізесу), МПа; режим охолодження

Порівняння величини і розподілу напружень, що виникають при нагріванні і охолодженні показують певні відмінності. Як видно з результатів розрахунків зміна напрямку теплового потоку викликає суттєву різницю величини термічних напружень (1,4...2,1 рази). Цей результат свідчить про певні критичні режими роботи обладнання, що можуть призвести до виникнення внутрішніх руйнувань у вигляді тріщини. Запобігання руйнуванню обладнання досягається регулюванням режиму охолодження і вибором відповідних матеріалів для виготовлення жолобу.

**Висновки.** Обрано вид модернізації жолобу подачі розплаву у формуючу машину при виготовленні склотари. Виконані розрахунки геометричної форми жолобу, що збільшує швидкість подачі скломаси до формування. Створена 3D модель робочої ділянки жолоба, на підставі якої встановлений відносно стабільний температурний профіль робочої частини. Розрахунки термічних напружень показали суттєву залежність величини напружень від напрямку теплового потоку (відмінність становить 1,4...2,1 рази). На підставі розрахунків термічних напружень встановлені вимоги до вибору режимних параметрів роботи і конструкційних матеріалів виготовлення жолобів.

#### Перелік посилань

1. US Patent No. 5,549,727. Glass forming apparatus.
2. European Patent EP 2 360 124 A1. Glass container forming machine.
3. Karwa, R. *Heat and Mass Transfer*. — 2nd ed. — Singapore: Springer, 2020. — 1147 p. — ISBN 978-981-15-3987-9.
3. Bucher Emhart Glass. *535 Servo Gob Distributor – Technical Manual*. — Emhart Glass.
4. Heye International. *High-Speed Triple Gob Line Case Study*. — 2022.
5. Rosa, N., Costa, J., Gameiro Lopes, A. CFD study of transient heating and cooling of a blank mould with a conformal cooling channel for manufacturing glass containers // *Results in Engineering*. — Vol. 17. — 2023. — P. 1–11.
6. Biosca, A. *Numerical and Experimental Study of Glass in the Blow and Blow Forming Process for the Prediction of Thickness Distributions in Glass Perfume Containers*. — PhD Thesis. — Universitat Ramon Llull, Catalonia, 2020. — 136 p.
7. ANSYS, Inc. *ANSYS 11.0 Structural Analysis Guide*. — Canonsburg, PA: ANSYS, Inc., 2007. — 1240 p.
8. Dudley, D. W. *Dudley's Gear Handbook*. — 2nd ed. — New York: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2012. — 846 p.