

Л.М. БЕРЕЗІН

Київський національний університет технологій та дизайну

К.В. САВЧЕНКО

Інститут проблем міцності імені Г.С. Писаренка Національної академії наук України

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОДАТЛИВОЇ ГРАНІ КЛИНУ СКЛАДНОЇ ФОРМИ ЗА КРИТЕРІЯМИ ДЕФОРМАЦІЇ ТА МІЦНОСТІ

Метою даного дослідження є розробка комплексного підходу до розрахунків клинів з податливою робочою гранню різних конструкцій за критеріями міцності та податливості на основі методу скінченних елементів з використанням некомерційного програмного забезпечення Code\_Aster. Було розглянуто конструкцію клину з податливою робочою гранню, яка забезпечує одночасну балкову і подвійну консольну деформації. За результатами обчислювальних експериментів були визначені розподіли еквівалентних напружень за Мізесом та деформацій по поверхні грані клину. Отримано оптимальні геометричні параметри робочої грані при врахуванні габаритних обмежень клину в замковій системі в'язального механізму, умов статичної міцності та максимального допустимого прогину. Отримані результати збільшують якість та ефективність проектування клинів з податливою робочою гранню, а саме – для майбутнього дослідження консолей трапецієдальної форми з рівномірним прогином.

Ключові слова: податлива робоча грань, міцність, податливість, метод скінчених елементів, Code\_Aster.

L.M. BEREZIN

Kyiv National University of Technologies and Design

K.V. SAVCHENKO

Institute for Problems of Strength of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

## MODELLING OF A FLEXIBLE GRINDER OF A COMPLEX SHAPE FORM ON THE CRITERIA OF DEFORMATION AND STRENGTH

The study aims to develop a complex approach to cams calculations with a flexible working facet of different designs by strength and flexibility criteria based on the finite element method using the non-commercial Code\_Aster software (Analysis of Structures and Thermo mechanics of Studies and Research), as an alternative licensed software package ANSYS Structures, NASTRAN, ABAQUS etc. The cam with a flexible working facet, which provides simultaneous beam and double cantilever deformations, is considered. A flexible working facet is a statically indeterminate spatial construction with two rigid seals. Analytical research is sophisticated in calculations and at the same time a little informative in the final result. So we used computer simulation. Two contradictory requirements were considered: the simultaneous provision of strength and required pliability at the same time. The direct task of calculating the geometric parameters of a flexible working facet was to meet the requirements of compliance, and the strength requirements were met with the required margin. A parametric model of a flexible working facet was constructed as an ordered grid of finite elements of the same size without the use of elongated and flat elements. The Salome pre-processor was used. The characteristics of the stress-strain state of the object of study were determined by varying the geometric parameters of the cams, taking into account the constraints of the cam space in the knitting system, the conditions of static strength and the maximum allowable deflection. Based on the results of the computational experiments, the distributions of equivalent stresses on Mises and deformations on the surface of the cam facet were determined. It is established that the use of a flexible working facet cam with the calculated geometric parameters provides the rigidity at the level of  $C = 4,51 \cdot 10^4 \text{ N / m}$ , which leads to a decrease of the vertical dynamic component load by 1.87 times compared with the cam of classical execution without elastic base. The analysis of the results confirmed the feasibility of using this complex in the problems of modelling the details of complex shapes, in particular pliable cam faces. The stress distribution along the length of the cantilever beams suggests that it is advisable to use trapezoidal cantilevers in the future to provide uniform flexural resistance, which will minimize cam sizes.

Keywords: flexible working facet; strength; flexibility; finite element method; Code\_Aster.

### Вступ

Основним параметром, що визначає надійність в'язального обладнання, є число відмов стержневих елементів (в'язальних голок, селекторів, штовхачів), на яке впливає ударне навантаження при взаємодії з клинами в'язальних механізмів. Одним з найефективніших способів зниження такого навантаження є зменшення жорсткості в парі п'ятки стержневого елемента та робочої поверхні клину. Оскільки фізико-механічні характеристики матеріалів, які використовуються при виготовленні клинів, суттєво не відрізняються, необхідну жорсткість забезпечують за рахунок збільшення податливості їх робочої поверхні. Тому основним напрямком підвищення довговічності голок є удосконалення конструкцій клинів, передусім застосування клинів з податливими робочими гранями (ПРГ), бібліографія за темою якої представлена в [1]. Теоретичні положення їх проектування, а саме дослідження впливу жорсткості, наприклад, в парі голка–клин на напруження, що виникають в в'язальній голці при ударі по клину [2], проектування клинів на пружній основі за заданою рівно надійністю податливої грані за критерієм міцності [3], комплексний підхід до розрахунку геометричних параметрів податливої грані клину в залежності від характеристик її жорсткості та циклічної довговічності в детермінованій та ймовірнісній постановках [4] та інші розробки достатньо широко представлені в літературних джерелах. Оскільки переважна більшість робіт стосується різновидів конструкцій клинів з ПРГ, які утворені пазами різних форм, що розміщені вздовж робочої грані, доцільним є розгляд загального проектування клинів з податливими гранями складних конфігурацій.

Для визначення оптимальних геометричних параметрів клинів з ПРГ використовують переважно аналітичні методи, але, враховуючи розвиток сучасної комп'ютерної техніки, їм на зміну приходять чисельні методи дослідження. Серед них найбільш ефективним вважається метод скінченних елементів. Його ідея, як відомо, полягає в апроксимації досліджуваного об'єкта моделлю, яка представляє собою сукупність елементів з скінченним числом ступенів вільності. Такі елементи взаємозв'язані між собою у вузлових точках, в яких прикладаються фіктивні сили, що еквівалентні поверхневим напруженням, розподіленим по їх границям. Параметри такої ідеалізованої системи визначаються з відповідних варіаційних рішень.

Таким чином, метою даного дослідження є розробка комплексного підходу до розрахунків клинів з податливою робочою гранню різних конструкцій за критеріями міцності та податливості на основі методу скінченних елементів з використанням некомерційного програмного забезпечення Code\_Aster.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** В якості об'єкта досліджень було вибрано конструкцію клину складної форми [5], розрахункова схема якого показана на рис. 1. Тут  $h$  – товщина робочої грані;  $L$ ,  $b$  – довжина та ширина робочої напрямної клину відповідно;  $H$ ,  $B$  – довжина та ширина консольних балок клину відповідно;  $x$  – координата точки початкової взаємодії п'ятки голки з клином. Така конструкція забезпечує балкову і подвійну консольну деформації, її геометричні параметри визначали, виходячи з габаритних обмежень клину в замковій системі в'язального механізму, умов статичної міцності та максимального допустимого прогину.

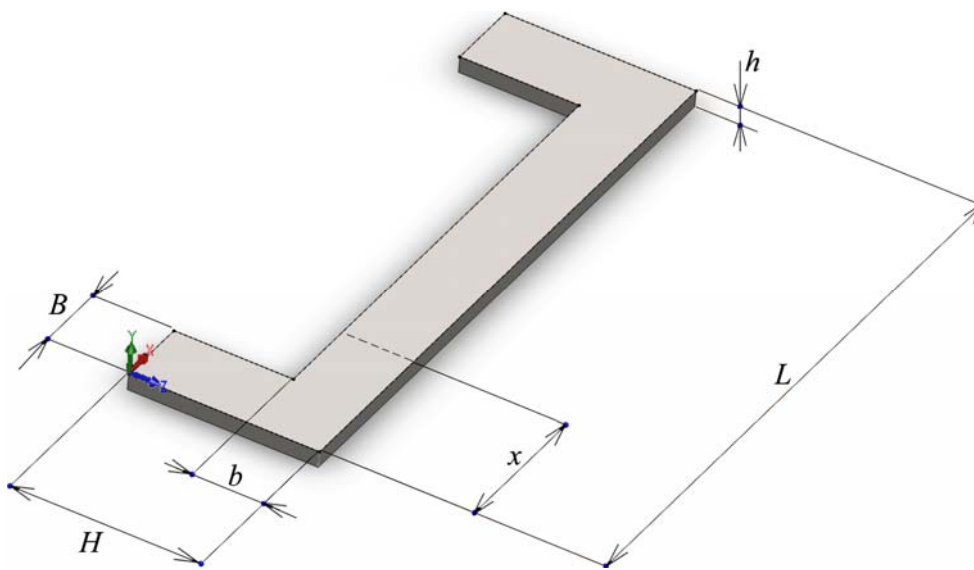


Рис. 1. Розрахункова схема податливої робочої грані клину

Для вирішення вказаної задачі можна використовувати два різних підходи: аналітичний та комп'ютерне моделювання. На етапі попереднього розрахунку рекомендується спрощений аналітичний розв'язок [6] з обчисленням розмірів податливої грані досліджуваного клину, де в якості характеристичного критерію вибирали мінімальне значення ударного навантаження в системі клин–голка–напрямна пазу циліндру при накладанні обмежень за умовою міцності та допустимої деформації згину грані клину в точці удару в вертикальному напрямку. Точність результату в силу певних припущень (наприклад, представлення деформації просторової несиметрично навантаженої незамкнутої рами сукупністю двох незалежних пружних систем) має наближений характер, тому він достатній тільки для аналізу впливу геометричних параметрів на вибраний характеристичний критерій. Аналітичний розрахунок ПРГ клину як статично невизначеної просторової конструкції з двома жорсткими закладеннями є об'ємним за обчисленнями та водночас малоінформативним за кінцевим результатом. Найбільш наочними вважаються результати, які отримані при комп'ютерному моделюванні, за допомогою якого також усувають більшість припущень, що мають місце в аналітичних методах.

При розрахунках будь-яких пружних елементів необхідно враховувати дві основні вимоги: одночасне забезпечення умови міцності та необхідної податливості. Переважно прямою задачею розрахунку геометричних параметрів ПРГ, вважають виконання вимог за податливістю, а вимога за міцністю повинна задовольнятися з необхідним запасом.

Для забезпечення процесу утворення петельних рядів однакової довжини необхідно, щоб деформація згину  $v$  робочої грані клину в точці удару в вертикальному напрямку задовольняла умові:

$$v_{max} \leq 0,2 \text{ мм.} \quad (1)$$

Оскільки ударне навантаження в парі голка–клин залежить від горизонтальної складової швидкості голки, що дорівнює коловій швидкості циліндру, визначення геометричних параметрів ПРГ клину виконували для значення навантаження  $P = 14 \text{ Н}$ .

Для представленої моделі обмеження за міцністю записують у такій формі:

$$\sigma_{max} \leq \frac{\sigma_{-1}}{n}, \quad (2)$$

де  $\sigma_{-1}$  – границя втоми матеріалу,  
 $n$  – коефіцієнт запасу міцності.

Для підшипникової сталі ШХ15, яку використовують у виробництві клинів, границя втоми становить 800 МПа [7]. Враховуючи [8] та рекомендації [9], для схеми розрахунку за границею втоми при навантаженнях з симетричним циклом вибираємо коефіцієнт запасу міцності  $n = 2,4$ . Тому в нашому дослідженні приймається, що  $\sigma_{max} \leq 333$  МПа.

Визначення границь системи стосовно клину є тривіальною задачею: незалежними параметрами, що управляються, є  $B$ ,  $b$  та  $h$ , а довжина поперечної балки робочої напрямної клину  $L$  задається рівною 27 мм, довжини консольних балок приймають  $H = 7$  мм (розміри  $L$  та  $H$  задаються з конструктивних міркувань у відповідності до обмежень в замковій системі в'язального механізму).

Як вказано вище, головна особливість методу скінченних елементів полягає в можливості моделювання як простих, так і складних тіл з різними властивостями матеріалу, граничними умовами та навантаженням, які можуть бути використані для розв'язання різного типу задач. Проте варто відмітити, що при створенні скінченно-елементної моделі врахувати всі перелічені фактори практично неможливо. Тому, залежно від мети дослідження, розглядаються в певній мірі ідеалізовані моделі з певними спрощеннями в геометрії, властивостях матеріалу, умов навантаження, а ступінь такої ідеалізації впливає на достовірність отриманих результатів та трудомісткість розрахунків.

Для визначення оптимальних геометричних параметрів ПРГ було побудовано її параметричну модель в програмному комплексі Code\_Aster з використанням препроцесору Salome [10]. Конструкція ПРГ має просту геометрію, тому для побудови скінченно-елементної моделі, яка показана на рис. 2 (тут  $A$  – площини для жорсткого закріплення,  $P$  – задане навантаження), було використано об'ємний 8-вузловий скінченний елемент, який є досить простим для розрахунку та дозволяє отримати достатню точність результату при визначенні напружено-деформованого стану об'єкту дослідження. При скінченно-елементному моделюванні враховували не тільки вибір типу скінченного елемента, а й його розмір, адже точність результату може знизитись, якщо в зонах з різкою зміною напружень і деформацій розміри сусідніх елементів будуть суттєво відрізнятись. Тому для моделі ПРГ створювалась впорядкована сітка скінченних елементів одного розміру, без використання витягнутих і плоских елементів.

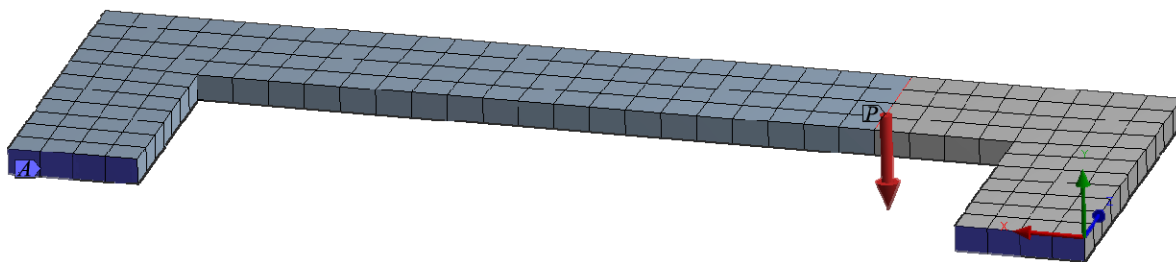


Рис. 2. Скінченно-елементна модель податливої робочої грані клину

Відомо, що ПРГ при експлуатації має консольне закріплення. Тому в якості граничних умов в скінченно-елементній моделі було задано жорстке закріплення на відповідних поверхнях консольних балок. Для моделювання взаємодії п'ятки голки з ПРГ клину задавалось навантаження  $P$  уздовж осі  $Oy$ . Його амплітуда дорівнювала  $P = 14$  Н.

Розрахунок характеристик напружено-деформованого стану об'єкту дослідження проводився при варіюванні геометричних параметрів клину  $B$ ,  $b$  та  $h$  таким чином, щоб задовольнялися умови (1) та (2).

За результатами виконаних обчислювальних експериментів були визначені розподіли еквівалентних напружень за Мізесом та деформацій в клині, приклади яких показано на рис. 3 і 4 відповідно.



Рис. 3. Розподіл еквівалентних напружень  $\sigma$  за Мізесом в клині при дії навантаження  $P = 14$  Н



Рис. 4. Розподіл прогинів  $u$  в клині при дії навантаження  $P = 14$  Н

З представлених даних видно, що максимальні напруження спостерігаються на правій консольній балці клину біля защемлення, при цьому максимальний прогин відбувається по грані взаємодії п'ятки голки з робочою гранню. Такий характер розподілів вказаних характеристик збігається з проведеними раніше аналітичними розрахунками [6]. Також отримано наближені до оптимальних геометричні параметри клину, які задовольняють вимоги за податливістю та міцністю, а саме  $b = 3$  мм,  $h = 0,7$  мм та  $B = 3,3$  мм.

Окрім цього, встановлено, що застосування ПРГ клину з розрахованими геометричними параметрами забезпечує приведену жорсткість на рівні  $C = 4,51 \cdot 10^4$  Н/м, що призводить до зниження вертикальної динамічної складової навантаження в 1,87 разу в порівнянні з клином класичного виконання без пружної основи.

#### Висновки

За результатами обчислювальних експериментів були визначені розподіли еквівалентних напружень за Мізесом та деформацій робочої грані клину та отримано наближені до оптимальних геометричні параметри клину, виходячи з габаритних обмежень клину та вимог за податливістю і міцністю. Параметричну модель клину побудовано на основі методу скінченних елементів з використанням некомерційного програмного комплексу Code\_Aster. Аналіз результатів підтвердив доцільність використання цього комплексу в задачах моделювання деталей складної форми, зокрема податливих граней клинів.

Розподіл напружень по довжині консольних балок передбачає використання в майбутньому трапецієвидних консолей для забезпечення рівномірного опору згину, що дозволить мінімізувати розміри клину.

#### Література

1. Березін Л.М. Оцінка довговічності та надійності в'язальних механізмів панчішно-шкарпеткових автоматів : монографія / Л.М. Березін. – К. : КНУТД, 2013. – 191 с.
2. Плешко С.А. Вплив жорсткості пари голка-клин на напруження, що виникають в стержні в'язальної голки при ударі об клин / С.А. Плешко, Б.Ф. Піпа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 2(259). – С. 17–19.
3. Березін Л.М. Розрахунок податливої грані клину панчішних автоматів за заданою рівно надійністю за критерієм міцності / Л.М. Березін // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. – 2013. – № 3. – С. 168–172.
4. Березін Л.М. Розрахунок податливої грані клину за критеріями жорсткості та довговічності / Л.М. Березін // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. – 2016. – № 3 (98). – С. 68–73.
5. А. с. 490882 ССРСР, МКИЗ D 04 B 15/32. Клин чулочного автомата / В.П. Волощенко, Г.И. Коньков, Л.Н. Березин, П.А. Агафонов (ССРСР). – № 3662647/28-12 ; заявл. 11.11.83 ; опубл. 28.02.86, Бюл. № 8. – 4 с.
6. Березін Л.М. Розрахунок геометричних параметрів податливої грані клину / Л.М. Березін // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Технічні науки. – 2013. – № 1 (69). – С. 11–14.
7. Трощенко В.Т. Сопротивление усталости металлов и сплавов : справочник : в 2 т. / В.Т. Трощенко, Л.А. Сосновский. – К. : Наукова думка, 1987. – Т. 2. – 808 с.
8. Павлов В.С. Визначення коефіцієнта запасу міцності при використанні критерію найбільшого нормального напруження / В.С. Павлов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – № 3. – С. 39–43.
9. Трощенко В.Т. Прочность металлов при переменных нагрузках / В.Т. Трощенко. – К. : Наукова думка, 1978. – 176 с.
10. Aubry J.P. Beginning with Code\_aster / Aubry, J.P. – Paris, 2013. – 329 p.

## References

1. Berezin L.M. Otsinka dovhovichnosti ta nadiinosti viazalnykh mekhanizmv panchishno-shkarpetkovykh avtomativ : monohrafiia / L.M. Berezin. – K. : KNUTD, 2013. – 191 s.
2. Pleshko S.A. Vplyv zhorstkosti pary holka-klyn na napruzhennia, shcho vynykaiut v sterzhni viazalnoi holky pry udari ob klyn / S.A. Pleshko, B.F. Pipa // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2015. – № 2(259). – S. 17–19.
3. Berezin L.M. Rozrakhunok podatlyvoi hrani klynu panchishnykh avtomativ za zadanoi rivno nadiinistiu za kryteriiem mitsnosti / L.M. Berezin // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu. Tekhnichni nauky. – 2013. – № 3. – S. 168–172.
4. Berezin L.M. Rozrakhunok podatlyvoi hrani klynu za kryteriiamy zhorstkosti ta dovhovichnosti / L.M. Berezin // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu. Tekhnichni nauky. – 2016. – № 3 (98). – С. 68–73.
5. s. 490882 SSSR, MKYZ D 04 B 15/32. Klyn chulochnoho avtomata / V.P. Voloshchenko, H.Y. Konkov, L.N. Berezyn, P.A. Ahafonov (SSSR). – № 3662647/28-12 ; zaiavl. 11.11.83 ; opubl. 28.02.86, Biul. № 8. – 4 s.
6. Berezin L.M. Rozrakhunok heometrychnykh parametriv podatlyvoi hrani klynu / L.M. Berezin // Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dyzainu. Tekhnichni nauky. – 2013. – № 1 (69). – С. 11–14.
7. Troshenko V.T. Soprotivlenie ustalosti metallov i splavov : spravochnik : v 2 t. / V.T. Troshenko, L.A. Sosnovskij. – K. : Naukova dumka, 1987. – T. 2. – 808 s.
8. Pavlov V.S. Vyznachennia koefitsiienta zapasu mitsnosti pry vykorystanni kryteriiu naibilshoho normalnoho napruzhennia / V.S. Pavlov // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2008. – № 3. – S. 39–43.
9. Troshenko V.T. Prochnost metallov pri peremennykh zagruzkah / V.T. Troshenko. – K. : Naukova dumka, 1978. – 176 s.
10. Aubry J.P. Beginning with Sode\_aster / Aubry, J.P. – Paris, 2013. – 329 p.

Рецензія/Peer review : 15.12.2019 р.

Надрукована/Printed : 1.1.2020 р.  
Рецензент: д.т.н., проф. Місяць В.П.