

УДК 677.055.548.24

БЕРЕЗІН Л. М.

Київський національний університет технологій та дизайну

РОЗРАХУНОК ПОДАТЛИВОЇ ГРАНІ КЛИНУ ЗА КРИТЕРІЯМИ ЖОРСТКОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ

Мета. Розв'язування завдання прикладного проектування заданого рівня прогину, довговічності і надійності податливої грані клину за критеріями жорсткості та втомленісної міцності.

Методика. Використання динамічного дослідження взаємодії стрижневих елементів з клинами з урахуванням їх пружно-інерційних характеристик та положень розрахунків конструкцій на жорсткість та втомленісну міцність в детермінованій та ймовірнісній постановках.

Результати. Одержані теоретичні положення для математичного обґрунтування вибору раціональної конструкції клину по заданій жорсткості та числу циклів навантажень податливої грані до втомленісного руйнування на етапі проектування. Доповнюється загальна методика визначення довговічності стрижневих елементів шкарпеткових автоматів з урахуванням властивостей податливої грані клину в порівнянні з традиційними їх конструкціями.

Наукова новизна. Вперше запропонований комплексний підхід до розрахунку геометричних параметрів податливої грані клину в залежності від характеристик її жорсткості та втомленісної довговічності в детермінованій та ймовірнісній постановках.

Практична значимість. Представлені теоретичні викладки та практичні рекомендації до конструювання клинів з податливою робочою гранню для проектування перспективних та удосконаленню діючих в'язальних систем шкарпеткових автоматів.

Ключові слова: податлива грань клину, жорсткість, довговічність, надійність, проектування.

Вступ. Визначальним фактором розвитку трикотажного обладнання є зростання продуктивності за рахунок інтенсифікації технологічних процесів та конструктивних ускладнень, що призводить до значних підвищень навантажень в механізмах. Особливо це стосується шкарпеткових автоматів як обладнання з традиційною реалізацією утворення петель. Для автоматів визначальною є надійність в'язальних механізмів, яка характеризується передусім втомленісним руйнуванням голок та селекторів (надалі – стрижневих елементів). Переважними напрямками підвищення їх довговічності є покращення умов ударної взаємодії з клинами в'язальної системи. Враховуючи огляд робіт за тематикою, який широко представлений в [1] та ретроспективну бібліографію за динамічним аналізом в системі голка(селектор) - клин [2], об'єктом досліджень обрано клини з податливою робочою гранню (ПРГ) та методологічний підхід до їх проектування за заданими умовами жорсткості, довговічності та надійності.

Постановка завдання. В статті розглядається традиційна конструкція клину з ПРГ, яка утворена пазом, що розміщений вздовж робочої поверхні. Визначення геометричних параметрів ПРГ клину характеризується сукупністю суперечливих цільових настанов, а саме: одночасне зниження її жорсткості в зоні удару п'яток стрижневих елементів шляхом зменшення розмірів поперечного перерізу та зростання напружень в небезпечному перерізі грані з відповідним негативним впливом на довговічність та надійність. Тому в якості характеристичного критерію вибираємо обмежену, попередньо задану довговічність ПРГ в

циклах навантаження до її втомленісного руйнування, що дозволить опанувати комплексний розрахунок конструкцій на втомленісну довговічність та жорсткість.

Результати досліджень. Представляємо розрахункову схему клину з ПРГ як балку з жорстко защемленими кінцями. Маємо плоску систему паралельних сил, яка є двічі статично невизначеною за рахунок реактивних моментів в защемленнях. Використовуючи загальний метод розкриття статичної невизначеності та класичні підходи з опору матеріалів, отримуємо наступні залежності:

- прогин балки
$$\delta = -\frac{2}{3} \frac{F}{EJ_z} \frac{x^2(l-x)^3}{(3(l-x)+x)^2}; \quad (1)$$

- згинаючого моменту в небезпечному перерізі при умові, що $x < (l-x)$

$$M_z = F \cdot x \frac{(l-x)^2}{l^2} \text{ або } M_z = F \cdot x \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2, \quad (2)$$

де F – сила ударної взаємодії п'яток стрижневих елементів з поверхнею клину; x – відстань від лівого защемлення до точки прикладання сили до балки; E – модуль пружності матеріалу ПРГ клину; $J_z = bh^3/12$ – осьовий момент інерції площі перерізу балки із сталими висотою h та шириною b ; l – робоча довжина балки.

Графіки прогинів балки $\delta(x/l)$ та згинаючих моментів $M_z(x/l)$ в залежності від положення точки прикладання сили до балки, які отримали за формулами (1) та (2), представлені на рисунку. Встановлено, що при $x = l/3$ маємо екстремум згинаючого моменту M_z , який змінюється за параболою, із значенням $M_{zmax} = 4F \cdot l/27 = 0,148Fl$.

Враховуючи графічні залежності за рис. та необхідність надання п'яткам стрижневих елементів певного робочого ходу вздовж клину для їх опускання та підйому, раціонально прийняти значення x в межах $\{0,225...0,25\}l$. Для унеможливлення порушення процесу утворення петель за відносним відхиленням їх довжин необхідно, щоб прогин ПРГ клину в точці удару задовольняв умові:

$$|\delta_y| \leq 0,2 \text{ мм.} \quad (3)$$

Тому проектний розрахунок по визначенню геометричних параметрів ПРГ виконуємо за умовою пружності $\delta(x,b,h) \leq |\delta_y|$, використовуючи залежність (1) та обмеження (3).

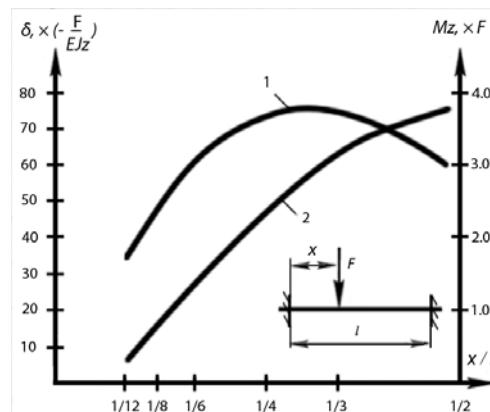


Рис.1. l - довжина робочої грані клину; x - координата прикладання сили F ; EJ_z - жорсткість перерізу щодо згину; 1- графік прогинів балки $\delta(x/l)$; 2- графік згинаючих моментів $M_z(x/l)$

З конструктивних міркувань попередньо задаємо робочу довжину l і ширину b ПРГ та відстань $x = 0,25l$. Звідки висота балки

$$h \geq 0,439_3 \sqrt{\frac{F}{Eb[\delta_y]}} \cdot l. \quad (4)$$

Величину ударних навантажень при взаємодії п'яток стрижневих елементів з ПРГ доцільно визначати за формулою виду [3]:

$$F = 12,55 - 5,164V_x - 0,460\alpha + 4,984 \cdot 10^3 m + 20,829K_c + 0,149F_o - \\ - 1,142 \cdot 10^{-4} C_{np} + 4,395 \cdot 10^{-3} \alpha^2 + 53,288K_c^2 + 0,055F_o^2 + 0,182V_x \cdot \alpha + \\ + 6,892 \cdot 10^{-5} V_x \cdot C_{np} + 2,521 \cdot 10^{-6} \alpha \cdot C_{np} - 2,119K_c \cdot F_o, \quad (5)$$

де m , C_{np} – маса та приведена жорсткість стрижневого елемента при взаємодії з клином; α – кут нахилу поверхні клину; V_x – колова швидкість п'ятки стрижневого елемента; K_c – коефіцієнт, який враховує деформацію згину стрижня в момент удару; F_o – сила опору руху в пазу циліндру.

Перевірний розрахунок на втомленісну міцність ПРГ необхідно виконувати за обмеженою, попередньо заданою довговічністю N в циклах навантаження до її втомленісного руйнування. Використовуємо співвідношення між розрахунковим напруженням σ_a в небезпечному перерізі та граничним напруженням ПРГ за критерієм втомленісної міцності σ_{-1DN} при заданому числі циклів навантаження N , перевищення якого викликає руйнування.

Розрахункове напруження $\sigma_a = M_z / W_z$ визначаємо з урахуванням осьового моменту опору $W_z = bh^2 / 6$ при заданій ширині b і обрахованій за (4) висоті h та $M_z = F \cdot 0,25l \cdot \left(1 - \frac{0,25l}{l}\right)^2 = 0,141F \cdot l$ при $x = 0,25l$. Граничну амплітуду напружень σ_{-1DN} ПРГ отримуємо з рівняння кривої втомленості деталі [4]:

$$\sigma_{-1DN} = \sigma_{-1D} \sqrt[m]{N_G / N}, \quad (6)$$

де σ_{-1D} – границя втомленості ПРГ на згин при симетричному циклі навантаження; N_G – абсциса точки перегину кривої втомленості; m – параметр, який характеризує нахил ділянки кривої втомленості. Значення показника m наближено вибирають за кореляційною формулою [4]:

$$m = C / K, \quad (7)$$

де $C = 5 + \sigma_B / 80$ – коефіцієнт в залежності від границі міцності матеріалу σ_B ; K – сумарний коефіцієнт, який враховує вплив конструктивних, технологічних і експлуатаційних факторів на опір втомленості деталі (в [4] рекомендовано вибирати $K=2,4$).

Границю втомленості деталі σ_{-1D} звичайно визначають експериментально або за типовою методикою розрахунку $\sigma_{-1D} = \sigma_{-1} / K$. Значення границі втомленості σ_{-1} вибирають для матеріалів ПРГ клину – сталей ШХ15 ГОСТ 801-78 або Х12Ф1 (для прокату смуг ГОСТ 4405-75).

Якщо для ПРГ клину неможливо забезпечити великий запас міцності, то перевірний розрахунок необхідно виконувати в ймовірнісній постановці [5]. При такому підході напруження σ_a та $\sigma_{-1Д}$ розглядають як незалежні випадкові величини, що розподілені за нормальним законом. Кількісно їх задають середніми значеннями $\bar{\sigma}_a$ і $\bar{\sigma}_{-1Д}$, середнє квадратичними відхиленнями s_a і $s_{-1Д}$ або відповідними коефіцієнтами варіації v_a і $v_{-1Д}$. В розрахунках деталей серійного обладнання [5] приймають $v_a = 0,15$, який домінує відносно $v_{-1Д}$. При відсутності даних втомленісних випробувань деталі коефіцієнт варіації границі втомленості допускається розраховувати за формулою [5]:

$$v_{-1Д} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2}, \quad (8)$$

де v_1 - коефіцієнт варіації границі втомленості деталі з матеріалу однієї плавки при відсутності розсіяння її розмірів, звичайно $v_1 = 0,04 \dots 0,1$; v_2 - коефіцієнт варіації границі міцності матеріалу; наближено $v_2 \approx 0,08$; $v_3 = (0,3 \dots 0,45) v_\rho$ - коефіцієнт варіації теоретичного коефіцієнта концентрації напружень, яким враховується розсіяння геометричних розмірів і шорсткості поверхні; $v_\rho = 0,03 \dots 0,1$ - коефіцієнт варіації фактору, який створює концентратор напруження.

Ймовірність безвідмовної роботи P за критерієм втомленісної міцності визначаємо як ймовірність того, що розрахункові напруження σ_a не перевищують граничні $\sigma_{-1ДN}$, тобто $Вер(\sigma_a < \sigma_{-1ДN})$. Числове значення P встановлюємо за таблицею нормального розподілу в залежності від квантилю:

$$u_P = -\frac{\bar{\sigma}_{-1ДN} - \bar{\sigma}_a}{\sqrt{S_{-1Д}^2 + S_a^2}} = -\frac{\bar{n} - 1}{\sqrt{\bar{n} v_{-1Д}^2 + v_a^2}}, \quad (9)$$

де $\bar{n} = \bar{\sigma}_{-1ДN} / \sigma_a$ - коефіцієнт запасу міцності за середніми нормальними напруженнями.

Висновки. Запропоновано сукупність теоретичних та практичних положень, які на етапі проектування розширюють можливості математичного обґрунтування вибору раціональної конструкції клинів з податливою робочою гранню за заданими параметрами жорсткості та числу циклів навантажень грані до втомленісного руйнування та доповнюють загальну методика визначення довговічності стрижневих елементів шкарпеткових автоматів з урахуванням властивостей податливої грані клину в порівнянні з традиційними їх конструкціями. В наведеному розрахунку враховується ударна дія на ПРГ п'ятки одного стрижневого елементу. В подальшому доцільно оцінити вплив на міцність грані одночасної дії інших елементів, що рухаються по клину в усталеному режимі, тобто розрахункову схему ПРГ доповнити рівномірним розподіленим навантаженням.

Список використаної літератури

1. Піпа Б.Ф., Плешко С.А. Удосконалення робочих органів механізмів вязання кругловязальних машин: Монографія. – К.: КНУТД, 2012. – 471 с.

2. Оцінка довговічності та надійності вязальних механізмів панчішно-шкарпеткових автоматів: Монографія / Л.М.Березін. – К.: КНУТД, 2013. – 191 с.

3. Березін Л.Н. Анализ влияния динамических нагрузок на долговечность вязальных игл чулочно-носочных автоматов //Вестник витебского государственного технологического университета, 2015, выпуск 29, С.7-12

4. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей и конструкций на прочность и долговечность: Справочник – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.

5. Решетов Д.Н., Иванов А.С., Фадеев В.З. Надежность машин. – М.: Высш. шк., 1988. – 238 с.

РАСЧЕТ ПОДАТЛИВОЙ ГРАНИ КЛИНА ПО КРИТЕРИЯМ ЖЕСТКОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ

Киевский национальный университет технологий и дизайна

БЕРЕЗИН Л.Н.

Цель. Решение задачи прикладного проектирования заданного уровня прогиба, долговечности и надежности податливой грани клина по критериям жесткости и усталостной прочности.

Методика. Использование динамического исследования взаимодействия стержневых элементов с клиньями с учетом их упруго-инерционных характеристик и положений расчетов конструкций на жесткость и усталостную прочность в детерминированной и вероятностной постановках.

Результаты Получены теоретические положения для математического обоснования выбора рациональной конструкции клина по заданной жесткости и числу циклов нагрузок грани до усталостного разрушения на этапе проектирования. Уточняется общая методика определения долговечности стержневых элементов носочных автоматов с учетом свойств податливой грани клина в сравнении с традиционными их конструкциями.

Научная новизна. Впервые предложен комплексный подход к расчету геометрических параметров податливой грани клина в зависимости от характеристик ее жесткости и усталостной долговечности в детерминированной и вероятностной постановках.

Практическая значимость. Представлены теоретические выкладки, методические рекомендации и практические подходы к конструированию клиньев с податливой рабочей гранью для проектирования перспективных и усовершенствованию действующих вязальных систем носочных автоматов.

Ключевые слова: *податливая грань клина, жесткость, долговечность, надежность, проектирование*

CALCULATION OF THE FLEXIBILITY PLATE OF THE CAM ACCORDING TO THE CRITERIAS OF RIGIDITY AND LONGEVITY

Kiev National University of Technologies & Design

BEREZIN L.

Purpose. Development of the application task decision for provide on the design stage of preset levels of the flexure, longevity and reliability of the flexible plate of the cam according to the criterions of rigidity and fatigue strength.

Methodology. Were used dynamic research of impact between rod elements and cams in view of their elastic-inertial characteristics and calculation provisions of designs by rigidity and fatigue strength in the traditional (deterministic) or probabilistic staging.

Findings. Are obtained a theoretical provision for mathematical substantiation to select of rational design cams with flexible plate with given parameters of rigidity and number of cycles of loading to fatigue failure on the design phase. Clarifies the overall method of determining the longevity of rod elements of hosiery automats taking into account the characteristic of the flexible plate cam compared with traditional designs.

Originality. Is offered a comprehensive approach to the calculation of the geometric parameters of a flexible plate of the cams with considering the characteristics of rigidity and fatigue longevity of cam plate in a deterministic and probabilistic staging.

Practical value. Are listed theoretical computations, methodical approaches and practical recommendations to the design cams with flexibility plate, which contribute to the design perspective and improvement of existing knitting systems of hosiery machines.

Keywords: *Cam, flexibility plate, rigidity, longevity, reliability, design*