

## РОЗРАХУНОК НА НАДІЙНІСТЬ ПОДАТЛИВОЇ РОБОЧОЇ ГРАНІ ДЛЯ КЛИНА

**Березин Л. Н., к.т.н., доц.**

Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ, Україна

e-mail: [lnb07@ukr.net](mailto:lnb07@ukr.net)

Надійність шарпеткових автоматів лімітують втомлені відмови голок, що є наслідком знакозмінних ударних навантажень в парі п'ятка голки та клин [1]. Одним з перспективних напрямків удосконалення в'язальних систем вважається застосування клинів з податливими робочими гранями (ПРГ). Більшість робіт щодо клинів з ПРГ присвячена аналізу впливу конструктивних особливостей на її жорсткість з перевірними розрахунками на статичну міцність за нормованим коефіцієнтом міцності. Оскільки вимога збільшення податливості за рахунок зменшення розмірів при зберіганні умови міцності є суперечливою, очевидна доцільність розрахунку ПРГ за критерієм втомленої міцності в ймовірнісному аспекті, тобто на надійність. Мета роботи - сформувані основні положення щодо аналізу надійності на втомлену міцність податливих робочих граней різних конфігурацій для клинів на етапі їх проектування.

Розглядалася конструкція ПРГ складної форми, що забезпечує одночасний балковий та подвійний консольний прогини. Враховуючи недостатню точність аналітичного підходу в силу ряду припущень, на етапі попереднього проектування використовувати комп'ютерне моделювання для визначення геометричних параметрів ПРГ при накладених обмеженнях за габаритами, максимально допустимого прогину в точці удару та коефіцієнтом запасу міцності  $n = 2,4$ . Використовували метод скінчених елементів та програмний комплекс вільного доступу Code\_Aster.

Для аналізу ефективності попереднього рішення виконували перевірку ПРГ на втому з визначенням ймовірності безвідмовної роботи. Робоче напруження  $\sigma_a$  та границю втоми  $\sigma_{-1d}$  в небезпечному перерізі ПРГ представляли випадковими величинами з середніми значеннями  $\overline{\sigma_{-1d}}$  і  $\overline{\sigma_a}$  та коефіцієнтами варіації  $V_{\sigma_{-1d}}$  і  $V_{\sigma_a}$ .

ПРГ розраховували окремо для підйомного (кут нахилу клину  $\alpha = 38,0^\circ$ ) та кулірного ( $\alpha = 47,5^\circ$ ) клинів, враховуючи складний спектр сил  $F_i$ . Визначення  $F_i$  при взаємодії з клином п'яток голок на всіх режимах навантаження виконували за результатами динамічного аналізу. Враховували:

колову швидкість п'ятки голки  $V$ , кут  $\alpha$ , масу голки та жорсткість в парі голка та клин, деформацію згину стержня голки при ударі та опір руху голки в пазу циліндра. При зміні режимів навантаження варіювали  $V$  та  $\alpha$ , а інші параметри залишали сталими.

Оскільки аналітичне визначення напружень в ПРГ клину є проблематичним, перехід від навантажень грані до напружень виконували методом скінчених елементів. Враховували тільки сили, що впливають на накопичення втомлених руйнувань за умовою  $\sigma_i > 0,5 \sigma_{-1\partial}$  [2]. За блок навантаження для визначення еквівалентної сили, враховуючи циклічність, брали сили  $F_i$ , що діють на клини при в'язанні однієї типової шкарпетки.

Відповідні цикли навантажень  $z_i$  обчислювали за аналізом рухів п'яток голок відносно клинів та технологічними особливостями в'язання. Реальні навантаження за прийнятий цикл замінювали еквівалентним за ступенем накопичення втомленісного руйнування, використовуючи формулу[3]:

$$\bar{F} = \sum p_i F_i, \quad (1)$$

де  $p_i = z_i / \sum z_i$  - відносна поява навантаження  $F_i$ .

Для кулірного  $\bar{F}_k$  та підйомного  $\bar{F}_n$  клинів відповідно отримали 16,47Н та 14,03 Н. Використовуючи комп'ютерне моделювання, за величинами  $\bar{F}_k$  та  $\bar{F}_n$  маємо відповідні максимальні напруження  $\bar{\sigma}_k = 398,0$  МПа та  $\bar{\sigma}_n = 339,04$  МПа.

Середню величину границі втоми  $\bar{\sigma}_{-1\partial}$  небезпечного перерізу ПРГ встановлювали за формулою [4]:

$$\bar{\sigma}_{-1\partial} = \bar{\sigma}_{-1} / K_\Sigma = 621 \text{ МПа}, \quad (2)$$

де  $\bar{\sigma}_{-1}$  - медіанне значення границі втоми підшипникової сталі ШХ15, з якої виготовлена ПРГ клину;  $K_\Sigma$  - коефіцієнт багатofакторного впливу на  $\bar{\sigma}_{-1\partial}$  концентрації напружень, масштабного фактору, анізотропії матеріалу, поверхневого зміцнення та якості обробленої поверхні.

Проблемною ланкою в ймовірнісних розрахунках є визначення коефіцієнтів варіації границь втомленості деталей  $V_{\sigma_{-1\partial}}^-$  та робочих навантажень  $V_a$  через відсутність або недостатність необхідної інформації. Коефіцієнт варіації границі її втомленості допускається розраховувати за формулою [4]:

$$V_{\sigma_{-1\partial}} = \sqrt{V_{\sigma_{-1}}^2 + V_{\sigma_{max}}^2 + V_{\alpha_\sigma}^2}, \quad (3)$$

де  $V_{\sigma_{-1}}^-$ ,  $V_{\sigma_{max}}$  та  $V_{\alpha_\sigma}$  - коефіцієнти варіації середніх величин границь втоми матеріалів, максимальних напружень в зоні концентрації та

теоретичного коефіцієнту концентрації напружень. За рекомендаціями [4] та залежністю (3) отримали  $v_{\sigma_{-1\partial}} = 0,164$ . В розрахунках  $v_a$  використовували результати з [1]: коефіцієнти варіації навантажень становлять  $v_{a_n} = 0,098$  для підйомного та  $v_{a_k} = 0,086$  кулірного клинів. Ймовірність безвідмовної роботи ПРГ за втомленою міцністю визначали за коефіцієнтом запасу міцності  $\bar{n} = \bar{\sigma}_{-1\partial} / \bar{\sigma}_a$  в залежності від квантилю [4]:

$$u_p = -\frac{\bar{n} - 1}{\sqrt{\bar{n}^2 v_{-1\partial}^2 + v_a^2}}, \quad (4)$$

Для ПРГ підйомного та кулірного клинів отримано ймовірності безвідмовної роботи  $p(t)$ , які наближаються до 1, тобто при коефіцієнті запасу міцності  $n = 2,4$  маємо завищений рівень надійності. Для вибору розмірів перерізу ПРГ за заданим рівнем надійності отримана залежність  $p(t)$  від ширини  $B$  перерізу - параметру, який варіюється. Наприклад, при  $p(t) = 0,95$ , що є достатньою для деталей загального призначення, маємо  $u_p = -1,645$ , що забезпечується при коефіцієнті запасу міцності  $n = 1,416$  та середніх робочих напруженнях  $\bar{\sigma}_a = H$ . Тоді отримали  $B = 2,85$  мм.

- [1]. Березін Л.М. Оцінка довговічності та надійності в'язальних механізмів панчішно-шкарпеткових автоматів : монографія / Л.М. Березін. – К.: КНУТД, 2013. – 191 с.  
 [2]. Когаев В.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность / В.П. Когаев, Н.А. Махутов, А.П. Гусенков. – М.: Машиностроение, 1985. – 224 с.  
 [3]. Канарчук В.С. Надійність машин / В.С.Канарчук, С.К.Полянський, М.М.Дмітрієв. – К.: Либідь, 2003. – 424 с.  
 [4]. Решетов Д.Н. Надежность машин / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев. – М.: Высш. шк., 1988. – 238 с.

## ANALYSIS THE RELIABILITY OF A FLEXIBLE WORKING FACE FOR CAM

*The calculations for the fatigue strength of a flexible working face with complex configuration for cams automatic half-hose machine in deterministic and probable formulation are considered. It is shown, that designing by a normalized strength factor like for general-purpose details gives inflated values of the geometrical parameters of the cross-section of the face. The order to the solution of the inverse task of determining the sizes of the section at a given level of reliability is presented. The information helps to improve the quality of cams design solutions to meet the requirements for reliability.*

УДК 624.012.4-183.2