

УДК 677.055

PLESHKO S. A., KOVALIOV Yu. A.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

DYNAMICS OF STRESS IN THE NEEDLE OF A KNITTING MACHINE WHEN INTERACTING WITH A WEDGE

Objective. *The purpose of this study is to develop a method for assessing the influence of stiffness of the needle-wedge pair of a knitting machine on the dynamics of stress that occurs in the needle rod when it hits the wedge.*

Methods. *To resolve the tasks assigned for this study, modern methods of theoretical research based on the theory of propagation of stress waves in flat rod elements under longitudinal impact were used.*

Results. *Given the expediency of increasing the life time of knitting machine needles by reducing the stress that occurs during their interaction with wedges, this article is devoted to the development of a method for assessing the influence of stiffness of the needle-wedge pair of a knitting machine on the dynamics of stress that occurs in the needle rod when it hits the wedge. Thus, this paper presents a method of assessing the influence of stiffness of the needle-wedge pair of a knitting machine on the dynamics of stress arising in the needle rod during its shock interaction with the knitting system wedges. The analysis of obtained dependencies showed that the needle-wedge pair stiffness affects the intensity of stress in the needle rod caused by the shock wave. At the same time, the reduction in stiffness helps to reduce the intensity of stress in the needle rod. The needle has a complex geometric shape. Therefore, when a needle hits a wedge, a complex field of stresses, which depends on the geometric shape of the needle, arises in its body. Equations presented in this study approximately describe the process of changing the stresses in the body of the needle when it hits the wedge. However, the results obtained allow us concluding that reducing the stiffness of the needle-wedge pair has a beneficial effect on increasing the life time of knitting needles.*

Originality. *The development of scientific foundations and engineering methods of designing knitting machines.*

Usefulness. *An engineering method and algorithm for calculating the stresses in the needle of a knitting machine, which arises when it interacts with the knitting mechanism wedges, are proposed. It has been established that the life time of the needle can be increased by reducing the stiffness of the needle-wedge pair.*

Keywords: *knitting machine; needle; wedge; stress in the needle; stiffness of the needle-wedge pair.*

Introduction. Operational efficacy of knitting machines, in particular the productivity and quality of the fabric, largely depends on the needles life time [1, 2], which, in turn, depends on the dynamic load that occurs in the zone of interaction between the needles and wedges of knitting systems.

According to the studies [3], an effective way to reduce the dynamic load on the needle during the knitting machine operation is to reduce the stiffness of the needle-wedge pair. However, the issue of influence of the needle-wedge pair stiffness on the dynamics of stress that arises in the needle rod has practically not been investigated, which, thus, creates certain problems for the knitting machines design.

Task assignment. The subject of this study is a knitting machine needle and the process of its interaction with the knitting machine wedges. To resolve the tasks assigned for this study, modern methods of theoretical research based on the theory of propagation of stress waves in flat rod elements under longitudinal impact were used.

Given the expediency of increasing the life time of knitting machine needles by reducing the stress that occurs during their interaction with wedges, this article is devoted to the development of a method for assessing the influence of stiffness of the needle-wedge pair of a knitting machine on the dynamics of stress that occurs in the needle rod when it hits the wedge.

Study results. Studies [4–10] etc., showed that when a knitting needle hits a wedge, shock waves of stress occur in its rod, which is one of the main causes of needles failure (needle hook

destruction, etc.). At the same time, to determine the intensity of stress occurring in the needle rod, the case of hard hit of the needle (rod) on the wedge is considered. In fact, when the needle hits the wedge, there is an elastic impact caused by the stiffness of the needle-wedge pair.

When studying the issue of propagation of stress waves that occur at the moment of hit, consider the rod, the diagram of which is presented in Fig. 1, a. The axis of the rod is taken as the X axis. The hit force is added to the O point of the rod.

Initial data: for $t = 0$ $u = 0$; $\frac{\partial u}{\partial t} = 0$; boundary data (for $x = 0$):

$$EF \frac{\partial u}{\partial x} = -N(t), \quad (1)$$

where $u = u(x, t)$ is hit-impacted longitudinal movement of the cross section of the rod;

E is a modulus of normal elasticity of the rod material;

F is cross-sectional area of the rod;

$\frac{\partial u}{\partial x} = \varepsilon$ is relative elongation of the rod;

$N(t)$ is hit-caused compression force of the rod.

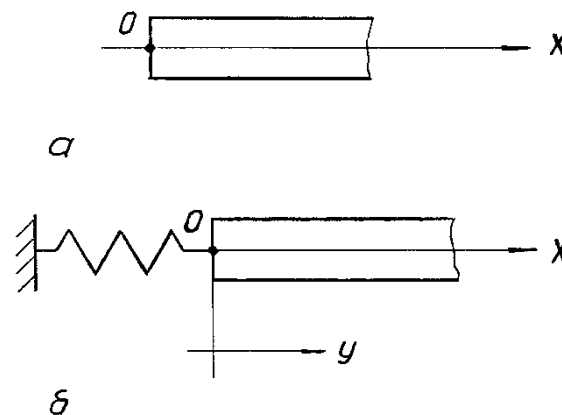


Fig. 1. Calculation model for the analysis of the propagation process of an elastic longitudinal wave of stress in the knitting machine needle rod:
 a – when the needle hits the wedge hard; б – with an elastic impact

Evidently: $N(t) \equiv 0$ for $t \leq 0$.

The movement of the rod cross-sections, when hit, is described by a differential equation:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad (2)$$

where $a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ is the rod material sound speed;

ρ is the rod material mass linear density.

Suppose that a longitudinal wave propagates along the rod:

$$u = f(x - at), \quad (3)$$

which obeys Eq. (2).

Then, the rod cross-sections movement equation can be represented as:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = f'(x - at). \quad (4)$$

Thus, solving Eq. (4) using the boundary conditions, we obtain:

$$EFf'(-at) = -N(t). \quad (5)$$

From which:

$$f'(-at) = -\frac{N(t)}{EF}. \quad (5)$$

Eq. (5) shall be presented as:

$$-\frac{1}{a} \cdot \frac{d}{dt} f(-at) = -\frac{N(t)}{EF}.$$

Or as:

$$\frac{d}{dt} f(-at) = \frac{aN(t)}{EF}. \quad (6)$$

Eq. (6) can be solved by using the method of variation of an arbitrary constant by integrating:

$$f(-at) = \int_0^t \frac{aN(\tau)}{EF} d\tau = \frac{a}{EF} \int_0^t N(\tau) d\tau. \quad (7)$$

From which, we obtain:

$$f(x - at) = \frac{a}{EF} \int_0^{t - \frac{x}{a}} N(\tau) d\tau = u(x, t). \quad (8)$$

Using obtained dependence (7), it is possible to find the longitudinal movement of the rod cross-sections, when hit.

Let us now consider the case of a rod hit, given elastic properties (elastic impact) – fig. 1, б.

When the rod hits, the longitudinal movement of its sections is determined so long as:

$W = u(x, t) + v_0 t$, or, given (7):

$$W = \frac{a}{EF} \int_0^{t - \frac{x}{a}} N(\tau) d\tau + v_0 t, \quad (8)$$

where W is hit-impacted longitudinal movement of the cross section of the rod (elastic impact);

v_0 is the rod initial speed (hit speed).

The rod hit-caused stiffness force is found by the Eq.:

$$N(t) = cy(t), \quad (9)$$

where c is the rod stiffness in the hit are.

By substituting (9) into (8), we obtain:

$$W = \frac{ac}{EF} \int_0^{t-\frac{x}{a} \geq 0} y(\tau) d\tau + v_0 t. \quad (10)$$

Eq. (10) is presented as:

$$\frac{ac}{EF} \int_0^t y(\tau) d\tau + v_0 t = y(t). \quad (11)$$

By solving Eq. (11), we obtain:

$$\frac{ac}{EF} y(t) + v_0 = \frac{d}{dt} y(t),$$

or:

$$y'(t) - \frac{ac}{EF} y(t) = v_0. \quad (12)$$

By solving Eq. (12), we obtain:

$$y(t) = -\frac{EF}{ac} v_0 + A e^{\frac{ac}{EF} t}. \quad (13)$$

The A integration constant is found using initial conditions: for $t = 0$ $y(t = 0)$:

$$A = \frac{EF}{ac} v_0. \quad (14)$$

By substituting (14) into (13), we obtain:

$$y(t) = \frac{EF}{ac} v_0 \left(1 - e^{-\frac{ac}{EF} t} \right). \quad (15)$$

The rod stiffness force is found by substituting (15) into (9):

$$N(t) = \frac{EF}{a} v_0 \left(-1 + e^{-\frac{ac}{EF} t} \right). \quad (16)$$

The stresses in the rod cross-sections, when hit, will make:

$$\sigma(t) = \frac{N(t)}{F} = \frac{E}{a} v_0 \left(-1 + e^{-\frac{ac}{EF} t} \right). \quad (17)$$

Representing the needle in the form of a rod of piecewise variable cross-section [5], the value of the maximum stresses $\sigma_{i_{\max}}$ in the cross-sections of individual sections l_i of the rod is found by the

following Eq. (given that $\sigma(t)_i = \sigma_{i_{\max}}$ for $t = \frac{2l_i}{a}$):

$$\sigma_{i\max} = \frac{Ev_0}{a} \left(-1 + e^{\frac{2cl_i}{EF_i}} \right) \quad (18)$$

Findings. The analysis of obtained dependencies (17), (18) shows that the stiffness of the needle-wedge pair affects the magnitude of stress in the needle rod caused by the shock wave. At the same time, the decrease in stiffness contributes to the decrease in the intensity of stress in the needle rod.

As it is known, the needle has a complex geometric shape. Therefore, when a needle hits a wedge, a complex field of stresses, which depends on the geometric shape of the needle, arises in its body. Thus, obtained equations (17), (18) approximately describe the process of stress change in the body of the needle when it hits the wedge. However, the results obtained allow us concluding that reducing the stiffness of the needle-wedge pair has a beneficial effect on increasing the life time of knitting needles.

References

Література

1. Voloschenko, V. P., Pipa, B. F., Shypukov, S. T. (1977). *Ekspluatatsiina nadiinist mashyn trykotazhnoho vyrobnytstva* [Operational reliability of knitting machines]. Kyiv: Tekhnika. 136 p. [in Ukrainian].
1. Волощенко В. П., Піпа Б. Ф., Шипуков С. Т. *Експлуатаційна надійність машин трикотажного виробництва*. Київ: Техніка, 1977. 136 с.
2. Pipa, B. F., Voloschenko, V. P., Shypukov, S. T., Orlov, V. A. (1983). *Pidvyschennia nadiinosti trykotazhnoho obladnannia* [Increasing the reliability of knitted equipment]. Kyiv: Tekhnika. 12 p. [in Ukrainian].
2. Піпа Б. Ф., Волощенко В. П., Шипуков С. Т., Орлов В. А. *Підвищення надійності трикотажного обладнання*. Київ: Техніка, 1983. 12 с.
3. Khomiak, O. M., Pipa, B. F. (1990). *Pidvyschennia efektyvnosti roboty viazalnykh mashyn* [Increasing the efficiency of knitting machines]. Kyiv: Tekhnika. 209 p. [in Ukrainian].
3. Хомяк О. М., Піпа Б. Ф. *Підвищення ефективності роботи в'язальних машин*. Київ: Техніка, 1990. 209 с.
4. Petrov, E. I. (1959). *Pro umovy roboty viazalnykh holok* [About working conditions of knitting needles]. *Tekstylna promyslovist = Textile industry*, № 3, P. 25–28 [in Ukrainian].
4. Петров Е. І. *Про умови роботи в'язальних голок*. *Текстильна промисловість*. 1959. № 3. С. 25–28.
5. Petrov, Yu. I., Petrov, E. I. (1959). *Khvyli napruhy v stryzhnevyykh detaliakh mashyn pry pozdovzhnomu udari* [Stress waves in rod parts of machines during longitudinal impact]. *Visti vuziv: Mashynobuduvannia = News of universities: Mechanical engineering*, № 5, P. 11–24 [in Ukrainian].
5. Петров Ю. І., Петров Е. І. *Хвилі напружень в стрижневих деталях машин при поздовжньому ударі*. *Вісті вузів: Машинобудування*. 1959. № 5. С. 11–24.
6. Pleshko, S. A., Kovalov, Yu. A., Rubanka, M. M. (2022). *Pidvyschennia efektyvnosti roboty viazalnykh mashyn: monohrafiia* [Improving the efficiency of knitting machines: a monograph]. Kyiv: KNUTD. 288 p. [in Ukrainian].
6. Плешко С. А., Ковальов Ю. А., Рубанка М. М. *Підвищення ефективності роботи в'язальних машин: монографія*. Київ: КНУТД. 2022. 288 с.
7. Krassii, H. H. et al. (1975). *Dovidnyk trykotazhnyka* [The Knitter's Handbook]. Kyiv: Tekhnika. 320 p. [in Ukrainian].
7. Крассій Г. Г. та ін. *Довідник трикотажника*. Київ: Техніка, 1975. 320 с.
8. Moiseenko, F. A. (1994). *Proektuvannia viazalnykh mashyn* [Designing knitting machines]. Kharkiv: Osnova. 336 p. [in Ukrainian].
8. Мойсеєнко Ф. А. *Проектування в'язальних машин*. Харків: Основа, 1994. 336 с.
9. Zatapi, S. (1998). *Pidvyschennia efektyvnosti roboty mekhanizmu viazannia odnofonturnoi kruhloviazalnoi mashyny* [Improving the efficiency of the knitting
9. Затарі С. *Підвищення ефективності роботи механізму в'язання однофонтурної*

mechanism of a single-font circular knitting machine: abstract of the dissertation of a candidate of technical sciences: 05.19.09]. Kyiv. 17 p. [in Ukrainian].

10. Zenkin, N. A. (1995). Pidvyschennia dovhovichnosti detalei mekhanizmu v'язання kruhloviazalnykh mashyn [Increasing the durability of parts of the knitting mechanism of circular knitting machines: abstract of the dissertation of the candidate of technical sciences: 05.19.09]. Kyiv. 17 p. [in Ukrainian].

круглов'язальної машини: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.19.09. Київ, 1998. 17 с.

10. Зенкін Н. А. Підвищення довговічності деталей механізму в'язання круглов'язальних машин: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.19.09. Київ, 1995. 17 с.

PLESHKO SERGEY

Candidate of Sciences in Engineering (PhD),
Associate Professor, Department of Mechanical
Engineering, Kyiv National University
of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4348-2858>
Scopus Author ID: 57221107365
Researcher ID: AAP-5539-2021
E-mail: pleshko.sa@knutd.com.ua

KOVALOV YURIY

Candidate of Sciences in Engineering (PhD),
Associate Professor, Department of Mechanical
Engineering, Kyiv National University
of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-2321-6763>
Scopus Author ID:
Researcher ID: AAP-5469-2021
E-mail: kovalov.ya@knutd.edu.ua

ПЛЕШКО С. А., КОВАЛЬОВ Ю. А.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна
**ДИНАМІКА НАПРУЖЕНЬ В ГОЛЦІ В'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ
ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З КЛИНОМ**

Мета. Метою дослідження є розробка методу оцінки впливу жорсткості пари голка-клин в'язальної машини на динаміку напружень, що виникають у стержні голки при ударі о клин.

Методика. При вирішенні завдань, поставлених у цій роботі, були використані сучасні методи теоретичних досліджень, що базуються на теорії поширення хвиль напружень у плоских стержневих елементах при позадвожньому ударі.

Результати. Враховуючи доцільність підвищення довговічності роботи голок в'язальних машин шляхом зниження напружень, що виникають при їх ударній взаємодії з клинами, стаття присвячена розробці методу оцінки впливу жорсткості пари голка-клин в'язальної машини на динаміку напружень, що виникають у стержні голки при ударі о клин. Представлений метод оцінки впливу жорсткості пари голка-клин в'язальної машини на динаміку напружень, що виникають у стрижні голки під час ударної взаємодії її з клинами в'язальних систем. Аналіз отриманих залежностей, показав, що жорсткість пари голка-клин впливає на величину напружень в стрижні голки, викликаних ударною хвилею. При цьому зниження жорсткості сприяє зниженню величини напружень у стержні голки. Голка має складну геометричну форму. Тому при ударі голки об клин у її тілі виникає складне поле напружень, яке залежить від геометричної форми голки. Отримані рівняння дають лише деяке наближення опису процесу зміни напружень в тілі голки при ударі її об клин. Однак отримані результати дозволяють дійти висновку, що зниження жорсткості пари голка-клин сприятливо впливає на підвищення довговічності в'язальних голок.

Наукова новизна. Розвиток наукових основ та інженерних методів проектування в'язальних машин.

Практична значимість. Запропоновано інженерний метод та алгоритм розрахунку напружень в голці в'язальної машини, що виникають при взаємодії її з клинами механізму в'язання. Встановлено, що підвищення довговічності голки можна досягти шляхом зниження жорсткості пари голка-клин.

Ключові слова: в'язальна машина; голка; клин; напруга в голці; жорсткість пари голка-клин.