Тип статьи: научная
УДК 539.319
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-4-62-68

ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНОГО ИЗНАШИВАНИЯ НА РЕСУРС НАГРУЖЕННЫХ КОНСОЛЬНО – ЗАКРЕПЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Владимир Филиппович Комогорцев[1], Ирина Владимировна Козарез[2], Сергей Александрович Феськов[3], Марина Александровна Михальченкова[4], Галина Владимировна Орехова[5]

[1,2,3,5]Брянский государственный аграрный университет, п.Кокино, Россия
[1] komvf@inbox.ru
[2] ikozarez@yandex.ru
[3] feskovwork@gmail.com
[5] orehowagalka@yandex.ru
[4]Брянский институт управления и бизнеса, Брянкс, Россия
[4] mihalchenkov.alexandr@yandex.ru

Автор ответственный за переписку: Владимир Филиппович Комогорцев, komvf@inbox.ru
Corresponding author Vladimir Komogortsev, komvf@inbox.ru

Реферат. *Среди деталей рабочих органов грунторазрабатывающих орудий определенное место занимают консольно – закрепленные конструктивные элементы, которые эксплуатируются в условия абразивного изнашивания высокой интенсивности. Известные теоретические исследования не позволяют прогнозировать ресурс консольно закрепленных деталей с учетом фактора изнашивания и деформационной способности материала. В работе теоретически решали две задачи по определению ресурса детали до того момента, когда: 1 - изнашиваемый участок настолько истончится, что область перехода от изношенной части к не изношенной станет более опасной при изгибе, чем область консольного закрепления; 2 - произойдет разрушение в зоне перехода от неизношенного участка к изношенному. Решение задач проводилось с применением методов курса «Сопротивления материалов». За расчетную схему была принята консольно – закрепленная балка переменного сечения. Учитывали, что основным параметром, характеризующим прочность изгибаемой балки, является величина растягивающих деформаций, возникающих на ее выпуклой стороне. Теоретическими исследованиями определены условия возникновения опасности разрушения и непосредственно самого разрушения в сечении детали, где имеет место переход от изношенной части к не изношенной. Итогом решения двух задач явился вывод формул, по которым можно спрогнозировать ресурс детали при ее локальном изнашивании. Получено математическое выражение, позволяющее рассчитать время эксплуатации локально - изнашиваемой консольно – закрепленной детали, когда ширина поперечного сечения области износа уменьшается настолько, что участок перехода к неизношенной части становится более опасным, чем консольное крепление. Получено математическое выражение, позволяющее определить ресурс конструктивного элемента для случая, когда его разрушение произойдет в месте перехода от изношенной области к неизношенной.*

Ключевые слова: *ресурс, прогнозирование, локальное изнашивание, консольное закрепление, опасное сечение, разрушение.*

THE EFFECT OF LOCAL WEAR ON THE RESOURCE OF LOADED CANTILEVER – FIXED PARTS

Vladimir Komogortsev[1], Irina Kozarez[2], Sergey Feskov[3], Marina Mikhalchenkova[4], Galina Orekhova[5]

[1, 2, 3,5] *Bryansk State Agrarian University. P. Kokino, Russian Federation*
[1] komvf@inbox.ru
[2] ikozarez@yandex.ru
[3] feskovwork@gmail.com
[5] orehowagalka@yandex.ru
[4] *Bryansk Institute of Management and Business. Bryansk, Russian Federation*
[4] mihalchenkov.alexandr@yandex.ru

Abstract. *Among the details of the working bodies of soil-developing tools, cantilever-fixed structural elements occupy a certain place, which are operated under conditions of high-intensity abrasive wear. Known theoretical studies do not allow predicting the resource of cantilevered parts, taking into account the wear factor and the deformation ability of the material. Two tasks were theoretically solved in the work on determining the resource of a part until the moment when: 1 - the wear section becomes so thin that the transition area from the worn part to the non-worn part becomes more dangerous when bending than the cantilever fastening area; 2 - destruction will occur in the transition zone from the unworn to the worn area. Problem solving was carried out using the methods of the course "Strength of materials". The cantilever-fixed beam of variable section is taken as the design scheme. It was taken into account that the main parameter characterizing the strength of a bent beam is the magnitude of tensile strains that occur on its convex side. It was taken into account that the main parameter characterizing the strength of a bent beam is the magnitude of tensile strains that occur on its convex side. The conditions for the occurrence of the danger of destruction and the destruction itself in the section of the part, where the transition from the worn part to the non-worn part takes place, are determined by theoretical studies. The result of solving two problems was the derivation of formulas by which it is possible to predict the resource of a part in case of its local wear. A mathematical expression has been obtained that makes it possible to calculate the operating time of a locally worn cantilever-fixed part, when the width of the cross-section of the wear area decreases so much that the transition area to the unworn part becomes more dangerous than the cantilever fastening. A mathematical expression has been obtained that makes it possible to determine the resource of a structural element for the case when its destruction occurs at the point of transition from a worn area to a non-worn one.*

Keywords: *resource, forecasting, local wear, cantilever fastening, dangerous section, destruction*.

Для цитирования: Комогорцев В.Ф., Козарез И.В., Феськов С.А., Михальченкова М.А., Орехова Г.В. Влияние локального изнашивания на ресурс нагруженных консольно-закрепоенных деталей // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022. Т. 58, № 4. С. 62-68. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-62-68.

For citation: Komogortsev V., Kozarez I., Feskov S., Mikhalchenkova M., Orehova G. The effect of local wear on the resource of loaded cantilever-fixed parts // Наука в центральной России Science in the central Russia. 2022; 58(4): 62-68. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-4-62-68.

Введение. В процессе эксплуатации детали некоторых технических средств претерпевают геометрические изменения, нередко выражающиеся в износах отдельных участков [1, 2, 3]. Такое явление наблюдается у ряда конструктивных элементов почвообрабатывающих орудий [4,5]. Примером могут служить локально изношенные лемеха и отвалы (рисунки 1 а, б; 2) [6, 7], а также зубья ковшей экскаваторов, отдельные детали горнодобывающей техники и дорожных машин. Их общей особенностью является консольное крепление.

Уменьшение поперечного сечения вследствие истирания на локальном участке изделия нередко приводит к появлению трещин (рис. 3 а), изгибов (рисунок 3 б) и изломов (рисунок 3 в) из-за неспособности материала сопротивляться деформациям, вызванными внешними силами. Например, давлением почвы на деталь рабочего органа почвообрабатывающего орудия.

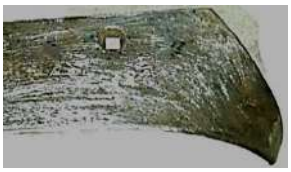
а)

б)

Рисунок 1 – Лучевидный износ: а) - носка цельнометаллического лемеха со сквозным протиранием; б) – составного лемеха в области, расположенной в непосредственной близости крепления долота

Рисунок 2 – Износ носка отвала по толщине с образованием лучевидной формы (фрагмент)

а)



б)

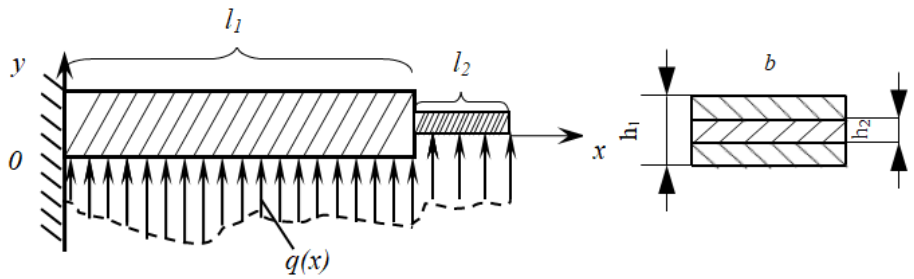
в)

Рисунок 3 – Дефекты как результат изнашивания плужных лемехов а) - трещины; б) - изгибы, скручивания, прогибы; в) - разрушения

Однако известные теоретические исследования, посвященные изучению влияния внешних силовых факторов на поперечный изгиб консольно-закрепленных деталей в случае локального износа малочисленны [8] и не дают ответа на вопрос о прогнозировании их ресурса.

Цель следования. Цель исследования заключается в решении двух задач. Задача 1: определение ресурса детали (времени ее эксплуатации) до того момента, когда изнашиваемый участок настолько истончится, что область перехода от тонкой (изношенной) части к толстой (не изношенной) станет более опасной при изгибе чем область консольного закрепления. Задача 2: определения ресурса детали до того момента, когда произойдет ее разрушение в зоне перехода от неизношенного участка к изношенному.

Решение задач. Исходя из вышеизложенного за расчетную схему (с определенными допущениями) можно принять консольно-закрепленную балку с участками различной толщины (рисунок 4, а, б). Участок l_1 большей толщены (h_1) и участок l_2 меньшей толщиной (h_2), который расположен на правом конце балки, имитируя тем самым наиболее изношенную часть детали.



а) б)

Рисунок 4 – Расчетная схема (а – продольное сечение; б – поперечное сечение)

При решении задач использовались формулы классического курса «Сопротивление материалов» [9].

Рассмотрим защемленную на своем левом конце балку, имеющую на участке длины l_1 толщину h_1 и модуль упругости материала E_1, а на участке длины l_2 - толщину h_2 и модуль упругости материала E_2 . При этом $E_1 \approx E_2$. Ширина балки b постоянна на всём её протяжении (рисунок 1 б, вид балки с торца). На балку действует некоторая распределенная по её длине нагрузка $q = q(x)$, (Н/м), представляющая собой силу, отнесенную к единице длины балки. Необходимо оценить прочность изгибаемой данной нагрузкой балки.

Основным параметром, характеризующим прочность изгибаемой балки, является величина растягивающих деформаций, возникающих на выпуклой (нижней) стороне балки [9]. Для балки, поперечное сечение которой является прямоугольником с шириной b и высотой h, эта деформация находится по формуле:

$$\varepsilon(x) = \frac{\sigma(x)}{E} = \frac{M(x)}{EW} = \frac{6M(x)}{Ebh^2} \quad (0 \le x \le l) \tag{1}$$

где $M(x)$ – изгибающий момент в сечении балки,

E – модуль упругости материала балки,

$W = \frac{bh^2}{6}$ - момент сопротивления сечения балки при её изгибе, l – длина балки. Таким образом, растягивающие деформации на нижних поверхностях соответствующих участков данной составной балки имеют вид:

$$\varepsilon(x) = \frac{6M(x)}{Ebh_1^2} \quad (0 \le x \le l); \; \varepsilon(x) = \frac{6M(x)}{Ebh_2^2} \quad (l_1 \le x \le l_1 + l_2) \tag{2}$$

Максимальными, а следовательно, и наиболее опасными для прочности балки являются значения этих деформаций при $x = 0$ и $x = l_1$:

$$\varepsilon(0) = \frac{6M(0)}{Ebh_1^2}; \quad \varepsilon(l_1) = \frac{6M(l_1)}{Ebh_2^2} \tag{3}$$

Определив эти деформации и сравнив их между собой, можно определить сечение, наиболее опасное для прочности балки.

Ограничимся рассмотрением наиболее простого случая:

$$q(x) = q_0 = const \quad (0 \le x \le l_1 + l_2) \tag{4}$$

Найдем изгибающий момент $M(x)$, создаваемый этой нагрузкой в сечении x. Это момент, создаваемый нагрузкой, действующей на балку справа от этого сечения. Имеем:

$$M(x) = \int_x^{l_1+l_2}(t-x)\cdot q(t)\cdot dt = q_0\cdot\int_x^{l_1+l_2}(t-x)\cdot dt =$$
$$= q_0 = \frac{(l_1+l_2)^2}{2}\cdot\left(1-\frac{x}{l_1+l_2}\right)^2 \quad (5)$$

С учетом выражения (5), формулы (3) примут вид:

$$\varepsilon(0) = 3\frac{p_0}{E}\left(\frac{l_1+l_2}{h_1}\right)^2;\ \varepsilon(l_1) = 3\frac{p_0}{E}\left(\frac{l_2}{h_2}\right)^2 \quad (6)$$

$$p_0 = \frac{q_0}{b}\ (\text{Н/м}^2); \quad (7)$$

Формулы (6) дают значения растягивающих деформаций, возникающих в точке защемления балки и в точке стыковки её частей соответственно. Сравнивая их между собой и учитывая, что для разных сортов стали $E_2 \approx E_1$, для стальной составной балки получим:

$$\frac{\varepsilon(l_1)}{\varepsilon(0)} = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^2\cdot\left(\frac{l_2}{l_1+l_2}\right)^2 \quad (8)$$

Из равенства (8) следует, что если $\lambda > 1$, т. е. если

$$\frac{l_2}{l_1+l_2} > \frac{h_2}{h_1}, \quad (9)$$

то наиболее опасным сечением при изгибе составной части балки при равномерной нагрузке на неё является её сечение стыковки $x = l_1$.

$$\frac{l_2}{l_1+l_2} < \frac{h_2}{h_1}\ , \quad (10)$$

то наиболее опасным сечением будет место защемления балки.

Толщина h_2 меняется со временем по закону

$$h_2 = h_{2н} - ct \quad (11)$$

где $h_{2н}$ – начальная толщина изнашиваемой части;
c – интенсивность изнашивания;
t – время изнашивания.

А участок l_1заметного износа не претерпевает и, следовательно, его толщина h_1 не меняется. В соответствии с целью имеют место две задачи. Задача первая - через какое время t участок l_2 истончится настолько, что плоскость стыковки $x = l_1$ станет более опасной при изгибе балки, чем плоскость ее защемления? Задача вторая - через какое время $t_{кр}$ произойдет излом более тонкой балки в месте ее крепления к более толстой?

Решение первой задачи. В момент времени t согласно (8) должно выполняться равенство $\varepsilon(l_1) = \varepsilon(0)$, то есть должно выполняться равенство

$$\frac{l_2}{l_1+l_2} = \frac{h_2}{h_1} => h_2 = h_1\cdot\frac{l_2}{l_1+l_2} =>$$
$$h_{2н} - ct = h_1\cdot\frac{l_2}{l_1+l_2} => ct = h_{2н} - h_1\cdot\frac{l_2}{l_1+l_2};$$
$$\frac{ct}{h_{2н}} = 1 - \frac{h_1}{h_{2н}}\cdot\frac{l_2}{l_1+l_2} \quad (12)$$

При малых значениях начальной толщины $h_{2н}$ величина $\frac{ct}{h_{2н}}$ определяемая формулой (12), может оказаться отрицательной. Это означает, что уже при начальной толщине $h_{2н}$ концевой части балки место стыковки балок будет более опасным для прочности балки, чем место ее защемления. Таковым оно останется и в последующие моменты времени, когда концевая часть балки будет становиться тоньше.

Решение второй задачи. Излом в месте стыковки балок произойдет, когда деформация $\varepsilon(l_1)$ концевой балки в этом месте станет критической:

$$\varepsilon(l_1) = \varepsilon_{2кр} => 3 \cdot \frac{p_0}{E} \cdot \frac{l_2^2}{h_2^2} = \varepsilon_{2кр} =>$$

$$=> h_2 = l_2 \sqrt{\frac{3}{\varepsilon_{2кр}} \cdot \frac{p_0}{E}} => h_{2н} - ct_{кр} = l_2 \sqrt{\frac{3}{\varepsilon_{2к}} \cdot \frac{p_0}{E}} =>$$

$$=> \frac{ct_{кр}}{h_{2н}} = 1 - \frac{l_2}{h_{2н}} \cdot \sqrt{\frac{3}{\varepsilon_{кр}} \cdot \frac{p_0}{E}} \quad (13)$$

Здесь $t_{кр}$ – время, через которое равномерно с интенсивностью изнашивающаяся c балка с меньшим сечением лопнет в месте ее стыка с балкой большего сечения.

Выводы

1. Получено математическое выражение, позволяющее рассчитать время эксплуатации (ресурс) локально - изнашиваемой консольно – закрепленной детали, когда ширина поперечного сечения области износа уменьшается настолько, что участок перехода к неизношенной части становится более опасным, чем консольное крепление.

2. Получено математическое выражение, позволяющее определить ресурс конструктивного элемента для случая, когда его разрушение произойдет в месте перехода от изношенной области к неизношенной.

Список источников

1. Кожухова Н.Ю., Ковалев А.П. Специфика геометрии износа плужных лемехов в зависимости от типа почв // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. - 2012. - № 1 (11). - С. 101-105.

2. Прудников С.Н., Лавров В.И. Метод лунок при определении геометрии износа криволинейных поверхностей деталей почвообрабатывающих орудий // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. - 2016. - № 4 (56). - С. 68-72.

3. Козарез И.В., Феськов С.А., Косачев С.В., Мокрогузов И.М., Дрикоз А.А. Возможность восстановления культиваторных лап для высева семян // Сельский механизатор. - 2020. - № 1. - С. 26-27.

4. Ерохин М.Н., Новиков В.С., Валежникова Е.В., Парамонов Д.П. Об оценке эффективности рабочих органов почвообрабатывающих машин Известия Академии инженерных наук им. А.М. Прохорова. - 2013. - № С. 99-106. 4

5 Кожухова Н.Ю., Михальченкова М.А., Орехова Г.В., Шкуратов Г.В., Королев В.В. Существующие методы устранения лучевидного износа // Труды инженерно-технологического факультета Брянского государственного аграрного университета. - 2021. - № 1. - С. 84-100.

6. Козарез И.В., Михальченков, А.М. Обзор способов восстановления плужных лемехов // Труды ГОСНИТИ. - 2012. - Т. 109. - № 2. - С. 30-34.

7. Михальченков А.М., Козарез И.В., Дьяченко А.В., Тюрева А.А. Изнашивание и ресурс восстановленных по различным технологиям отвалов сельскохозяйственного назначения // Технология металлов. - 2021. - № 1. - С. 47-51.

8. Михальченков А.М., Комогорцев В.Ф., Козарез И.В., Михальченкова М.А., Дьяченко А.В. Влияние внешних силовых факторов на прочность равномерно нагруженных консольно-закрепленных деталей при условии их абразивного изнашивания // Агроинженерия. - 2021. - № 4 (104). - С. 41-45.

9. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учеб для вузов. – 10-е изд. перераб.и доп. – Изд - во МГТУ им. Баумана, 1999. – 592с.

Reference

1. Kozhukhova N.Yu., Kovalev A.P. Specifics of the wear geometry of plowshares depending on the type of soil // Design, use and reliability of agricultural machinery. - 2012. - № 1 (11). - Pp. 101-105.

2. Prudnikov S.N., Lavrov V.I. The method of holes in determining the geometry of wear of curved surfaces of parts of tillage tools // Bulletin of the Bryansk State Agricultural Academy. - 2016. - № 4 (56). - Pp. 68-72.

3. Kozarez I.V., Feskov S.A., Kosachev S.V., Mokroguzov I.M., Drikoz A.A. The possibility of restoring cultivator paws for sowing seeds // Rural mechanizer. - 2020. - No. 1. - pp. 26-27.

4. Erokhin M.N., Novikov V.S., Valezhnikova E.V., Paramonov D.P. On the evaluation of the efficiency of the working organs of tillage machines Proceedings of the Academy of Engineering Sciences named after A.M. Prokhorov. - 2013. - no. pp. 99-106. 4.

5 Kozhukhova N.Yu., Mikhalchenkova M.A., Orekhova G.V., Shkuratov G.V., Korolev V.V. Existing methods of eliminating xiphoid wear // Proceedings of the Faculty of Engineering and Technology of the Bryansk State Agrarian University. - 2021. - No. 1. - pp. 84-100.

6. Kozarez I.V., Mikhalchenkov, A.M. Review of methods of restoration of plowshares // Proceedings of GOSNITI. - 2012. - Vol. 109. - No. 2. - pp. 30-34.

7. Mikhalchenkov A.M., Kozarez I.V., Dyachenko A.V., Tyureva A.A. Wear and resource of agricultural dumps restored by various technologies // Technology of metals. - 2021. - No. 1. - pp. 47-51.

8. Mikhalchenkov A.M., Komogortsev V.F., Kozarez I.V., Mikhalchenkova M.A., Dyachenko A.V. The influence of external force factors on the strength of uniformly loaded cantilever-fixed parts under the condition of their abrasive wear // Agroengineering. - 2021. - № 4 (104). - Pp. 41-45.

9. Feodosiev V.I. Resistance of materials: Studies for universities. – 10th ed. reprint.and additional Publishing House of Bauman Moscow State Technical University, 1999. – 592s.

Информация об авторах

В. Ф. Комогорцев – кандидат физико-математиечских наук, доцент; И. В. Козарез – кандидат технических наук, доцент; С. А. Феськов – кандидат технических наук, доцент; М.А. Михальченкова – магистр, старший преподаватель; Г.В. Орехова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.

Information about the authors

V. Komogortsev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor; I. Kozarez – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; S. Feskov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, M. Mikhalchenkova - Master's degree, senior lecturer, G. Orekhova - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 28.06.2022 Принята к публикации (Accepted): 03.07.2022