

УДК 621.774.72

Горбач Е. В.  
Середа В. Г.  
Паламарчук В. А.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ЛИНЕЙНОГО ИЗНОСА ИНСТРУМЕНТА ТРЕНИЯ ОТ ДЛИНЫ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ГОРЯЧЕЙ ОБКАТКЕ ТРУБЧАТЫХ ЗАГОТОВОК

Качество и себестоимость выпускаемой продукции, получаемой обкаткой, в значительной степени связаны с износом инструмента. На износ инструмента и коэффициент трения влияет множество факторов, основными из которых являются свойства материалов инструмента и заготовки, состояние их поверхностей, температурный режим обкатки, внешняя среда, удельные усилия, скорость относительного скольжения.

В работах В. Г. Капоровича наряду с исследованиями энергосиловых параметров обкатки днищ и горловин баллонов, оптимальных режимов деформирования заготовок рассмотрены вопросы выбора материала инструмента трения, применение эффективных смазок [1]. Однако эти исследования в большей степени касаются обкатки поворотным инструментом трения.

При обкатке поворотным инструментом трения заготовка контактирует с инструментом в течение всего периода деформирования, в результате чего происходит нагрев и интенсивный износ инструмента в месте контакта с заготовкой. При обкатке тангенциальным инструментом трения поверхность контакта перемещается по поверхности инструмента. Чем длиннее инструмент, тем меньше время контакта каждого из участков инструмента с заготовкой и, следовательно, меньше износ. Однако увеличение длины инструмента приводит к увеличению его металлоёмкости и массы и, соответственно, к увеличению его стоимости.

В работе [2] были проанализированы факторы износа инструмента, предложена формула для вычисления линейного износа инструмента и получена критериальная зависимость интенсивности износа от ряда факторов, но не приведена математическая модель величины интенсивности износа инструмента трения для процесса обкатки.

Так как одним из существенных факторов является время контакта заготовки с инструментом, то актуальной является задача исследования зависимости линейного износа инструмента трения для тангенциальной обкатки днищ от длины инструмента.

Цель работы – вывести и проанализировать зависимость линейного износа инструмента трения от его длины для процесса обкатки.

Интенсивность изнашивания есть отношение количества разрушенного и удалённого с поверхности трения материала к расчётной площади трения и к пути трения, которым обусловлен износ [3]. Исходя из этого, интенсивность линейного ( $I_h$ ) и массового ( $I_q$ ) износа представлена соотношениями:

$$I_h = \frac{\Delta V}{FL} = \frac{\Delta h}{L}; \quad I_q = \frac{\Delta Q}{FL}, \quad (1)$$

где  $\Delta V$  – объём разрушенного и удалённого с поверхности трения материала;

$\Delta Q$  – масса истёртого материала;

$\Delta h$  – толщина слоя материала, удалённого с поверхности изнашивания;

$F$  – расчётная площадь трения;

$L$  – путь трения.

Значит массовый износ:

$$\Delta Q = I_q FL. \quad (2)$$

С другой стороны, масса изношенного слоя:

$$\Delta Q = \Delta V \cdot \rho, \quad (3)$$

где  $\rho$  – плотность истираемого материала.

Отсюда:

$$\Delta V \cdot \rho = I_q FL, \quad (4)$$

$$\Delta V = I_q FL / \rho, \quad (5)$$

$$\Delta V = a \cdot l_u \cdot \Delta h, \quad (6)$$

где  $l_u$  – длина инструмента трения;

$a$  – длина площади касания заготовки и инструмента.

Из (5) и (6) следует, что линейный износ:

$$\Delta h = \frac{I_q \cdot F \cdot L}{a \cdot l_u \cdot \rho}. \quad (7)$$

Важнейшей особенностью технологического процесса обкатки является его нестационарность и несимметричность. В процессе обкатки непрерывно изменяется толщина стенки обкатываемой заготовки, длина обкатываемого участка, размеры и положение в пространстве поверхности контакта заготовки с инструментом, энергосиловые параметры процесса. Следовательно, износ различных участков инструмента будет неодинаковым. Мы будем рассматривать последовательное движение заготовки вдоль инструмента, считая указанные параметры одинаковыми на протяжении одного оборота заготовки. Поэтому будем вычислять линейный износ каждого участка инструмента пооборотно.

Путь скольжения металла  $L$  определяется по следующей формуле:

$$L = \pi \cdot D_{cp} \cdot n_3 \cdot t, \quad (8)$$

где  $D_{cp}$  – диаметр заготовки, измеренный в центре приложения сил;

$n_3$  – частота вращения заготовки;

$t$  – время обкатки.

Площадь контакта участка инструмента с заготовкой:  $F = a \cdot b_{cp}$ , где  $b_{cp}$  – ширина.

$$\Delta h = \frac{I_q \cdot b_{cp} \cdot \pi \cdot D_{cp} \cdot n_3 \cdot t}{l_u \cdot \rho}. \quad (9)$$

Определим значения величин, входящих в зависимость (9).

Зависимость интенсивности износа от нагрузки при прочих постоянных факторах имеет вид [3]:

$$I = Ap^m, \quad (10)$$

где коэффициенты  $A$  и  $m$  зависят от температуры и свойств материала инструмента и определяются экспериментально.

Для сферических дниц зависимость среднего давления металла на инструмент может быть представлена в виде [4]:

$$p_{cp} = 13,4 \cdot \mu \cdot \frac{s_0 \sigma_s}{b_{cp} \sqrt{3}}, \quad (11)$$

где  $\mu$  – коэффициент трения;

$\sigma_s$  – сопротивление деформации;

$s_0$  – начальная толщина стенки деформируемой заготовки.

Коэффициент трения вычисляем по формуле [5]:

$$\mu = 0,274 + 0,03 \cdot \frac{T - 925}{125} - 0,245 \cdot 10^{-1} \cdot \frac{\frac{s_0}{D} - 0,121}{0,042}. \quad (12)$$

Сопротивление деформации  $\sigma_s$  зависит от угла наклона  $\varphi$  к оси заготовки текущей поверхности инструмента [1]:

$$\sigma_s = \sigma_{TH} + \frac{2 \cdot \varphi \cdot (\sigma_{TK} - \sigma_{TH})}{\pi}, \quad (13)$$

где  $\sigma_{TH}$  – сопротивление деформации в начале обкатки;

$\sigma_{TK}$  – сопротивление деформации в конце обкатки.

Геометрические параметры площади контакта находим по формулам [5]:

$$b_{cp} = \frac{F}{\rho_k - R \cdot \varphi}; \quad (14)$$

$$F = \frac{[R_0 - R(1 - \cos \varphi)]^2}{4 \sin^2 \varphi} \sqrt{\frac{\Delta \varphi}{\sin 2\varphi}} \cdot \arccos \left( 1 - \frac{2 \cdot (\rho_k - R\varphi) \sin \varphi}{R_0 - R(1 - \cos \varphi)} \right) - \frac{b_T}{2} \left[ \frac{R_0 - R(1 - \cos \varphi)}{2 \sin \varphi} - \rho_k + R\varphi \right];$$

$$b_T = \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_k - R\varphi) \cdot \Delta \varphi}{\cos \varphi} \cdot (R_0 - R \cdot (1 - \cos \varphi) - (\rho_k - R\varphi) \cdot \sin \varphi)}; \quad (15)$$

$$D_{cp} = 2 \cdot b_c = \frac{8}{3\pi} b_T, \quad (16)$$

где  $R$  – радиус заготовки;

$R_0$  – текущий радиус заготовки;

$\varphi$  – текущий угол;

$\rho_k$  – длина образующей.

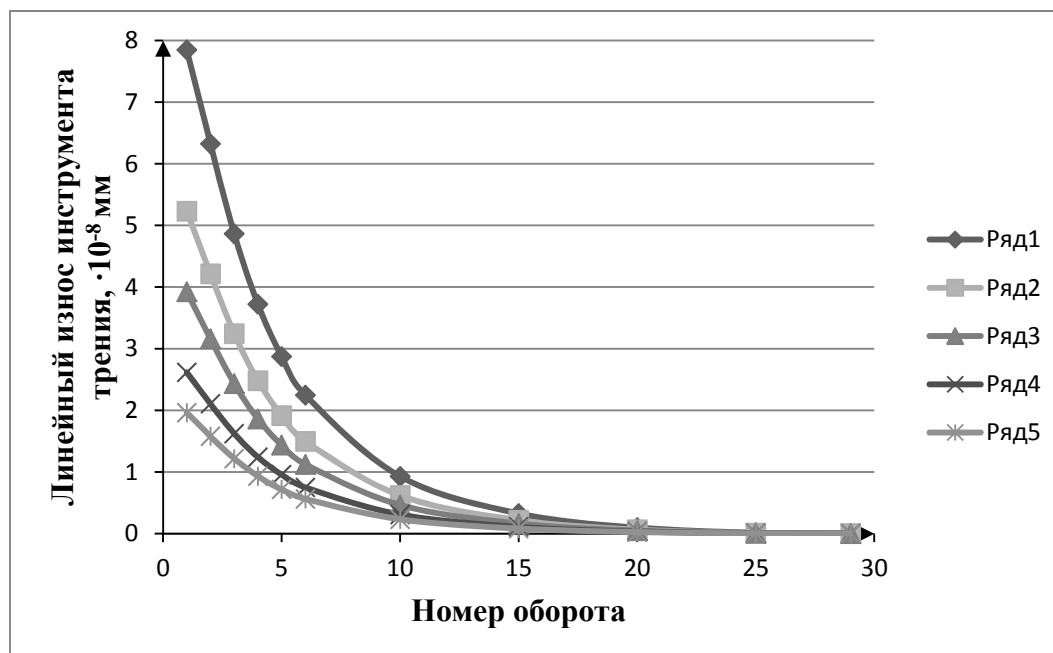
Вычислим линейный износ инструмента трения для обкатки сферического днища диаметром 108 мм, толщиной стенки 6 мм, частота вращения заготовки 600 об/мин, температура нагрева заготовки 1200 °С, угол подъёма 3°/об, сопротивление деформации в начале обкатки  $\sigma_{ТН}=12,3$  МПа, сопротивление деформации в конце обкатки  $\sigma_{ТК}=31,4$  МПа, приняты коэффициенты  $A = 7,6 \cdot 10^{-11} 1/(\text{МПа})^m$ ,  $m = 1,6$  [1, 5]. Результаты вычислений линейного износа в зависимости от длины инструмента трения для некоторых оборотов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Зависимость линейного износа  $h$  инструмента от его длины  $l_u$ 

Номер оборота	$h (l_u = D),$ $\cdot 10^{-8}$ мм (Ряд 1)	$h (l_u = 1,5D),$ $\cdot 10^{-8}$ мм (Ряд 2)	$h (l_u = 2D),$ $\cdot 10^{-8}$ мм (Ряд 3)	$h (l_u = 3D),$ $\cdot 10^{-8}$ мм (Ряд 4)	$h (l_u = 4D),$ $\cdot 10^{-8}$ мм (Ряд 5)
1	7,847747	5,231831	3,923873	2,615916	1,961937
2	6,322729	4,215153	3,161364	2,107576	1,580682
3	4,865758	3,243838	2,432878	1,621919	1,216439
4	3,721337	2,480891	1,860668	1,240446	0,930334
5	2,872643	1,915095	1,436321	0,957548	0,718161
6	2,246276	1,497517	1,123138	0,748759	0,561569
10	0,926783	0,617856	0,463391	0,308928	0,231696
15	0,325755	0,217170	0,162877	0,108585	0,081439
20	0,096497	0,064332	0,048248	0,032166	0,024124
25	0,014555	0,009704	0,007277	0,004852	0,003639
29	0,000194	0,000129	0,000097	0,000064	0,000048

Полученные результаты представлены на рис. 1.

Рис. 1. Зависимость линейного износа  $h$  инструмента от его длины  $l_u$ :

- ряд 1 – длина инструмента равна диаметру заготовки;
- ряд 2 – длина инструмента равна 1,5 диаметра заготовки;
- ряд 3 – длина инструмента равна 2 диаметрам заготовки;
- ряд 4 – длина инструмента равна 3 диаметрам заготовки;
- ряд 5 – длина инструмента равна 4 диаметрам заготовки

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что наибольший линейный износ наблюдаем на участке инструмента в начале деформирования на первых 6 оборотах. При прочих равных факторах зависимость между линейным износом и длиной инструмента обратно пропорциональная.

Но изменение длины инструмента влияет на время контакта инструмента с заготовкой, соответственно изменяется температура нагрева инструмента и глубина нагретого слоя, что, в свою очередь, влияет на изменение механических свойств материала инструмента. Поэтому в дальнейшем предполагаем при исследовании зависимости линейного износа инструмента от его длины учесть вышеназванные зависимости.

При проектировании инструмента, исходя из условий его наименьшего износа, калибровка инструмента должна предусматривать равномерный линейный износ на всей поверхности инструмента трения. Поэтому для обеспечения равномерного износа участок с наибольшим линейным износом необходимо растянуть пропорционально накопленному износу.

### ВЫВОДЫ

Получена и проанализирована зависимость линейного износа инструмента трения для тангенциальной обкатки трубчатых заготовок от длины инструмента при прочих равных факторах.

Чем длиннее инструмент трения, тем меньше линейный износ, но увеличение длины инструмента приводит к увеличению его стоимости, поэтому в дальнейшем предполагаем решить задачу по нахождению оптимальной длины инструмента с учётом экономической составляющей.

Так как при обкатке тангенциальным инструментом трения поверхность контакта перемещается по поверхности инструмента, и чем длиннее инструмент, тем меньше время контакта каждого из участков инструмента с заготовкой и, следовательно, меньше нагрев каждого участка инструмента. В дальнейшем необходимо проанализировать зависимость нагрева инструмента трения от времени контакта инструмента с заготовкой и изменение свойств инструмента от температуры.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капорович В. Г. *Производство деталей из труб обкаткой* / В. Г. Капорович. – М. : Машиностроение, 1978. – 136 с.
2. Капорович В. Г. *Стойкость инструмента для роторной обкатки трубчатых заготовок* / В. Г. Капорович, В. К. Удовенко, В. Г. Серета // *Надёжность режущего инструмента*. – Донецк, 1975. – Выпуск 2.
3. Кузьменко А. Г. *Метод испытаний на износ по схеме «Вращающийся цилиндр-плоскость»* / А. Г. Кузьменко, О. П. Бабак // *Проблемы трибологии*. – 2000. – № 2. – С. 116–124.
4. Серета В. Г. *Моделирование технологических процессов статистическими методами* : монография / В. Г. Серета, В. А. Паламарчук, Я. Е. Пыц. – Краматорськ : ДДМА, 2010. – 84 с.
5. *Производство изделий машиностроения горячей обкаткой* / под ред. В. С. Рыжикова, В. К. Удовенко. – Краматорск : ДГМА, 2006. – 284 с.

Горбач Е. В. – аспирант ДГМА;

Серета В. Г. – канд. техн. наук, доц. каф. МТО ДГМА;

Паламарчук В. А. – канд. техн. наук, доц. каф. ВМ ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: [vm@dgma.donetsk.ua](mailto:vm@dgma.donetsk.ua)

*Статья поступила в редакцию 18.03.2013 г.*