

РАЗДЕЛ IV ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 621.774.72

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

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ ОБКАТКИ ТРУБЧАТЫХ ЗАГОТОВОК

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

В работах В. Г. Капоровича [1, 2] проведён качественный анализ факторов износа инструмента и указаны общие рекомендации по повышению износостойкости инструмента.

В работе [3] 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.

Известна зависимость интенсивности линейного износа от нагрузки при прочих постоянных факторах [4, 5]:

$$I_h = Ap^m, \quad (1)$$

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

В работе [6] приведены экспериментальные данные о массовом износе материала инструмента трения во взаимодействии с рядом материалов, из которых обычно изготавливают трубчатые заготовки.

Цель работы – определить коэффициенты A и m уравнения интенсивности износа инструмента трения, проанализировать распределение линейного износа по инструменту, спрогнозировать стойкость инструмента.

Определим параметры A и m уравнения интенсивности износа.

Для этого используем результаты исследования износостойкости чугуна 300Х28Г2Р, из которого изготавливается инструмент для тангенциальной обкатки, с помощью специальной установки [7] во взаимодействии с различными материалами контртела в условиях повышенных температур (900°C) и удельных давлений при пути трения 1000 м [6] (табл. 1).

Важнейшей особенностью технологического процесса обкатки является его нестационарность и несимметричность. Износ по инструменту распределяется неравномерно. Поэтому нас будет интересовать не суммарный массовый износ, а линейный износ различных участков инструмента, который и влияет на износостойкость инструмента трения.

$$I_h = \frac{\Delta V}{FL}, \quad I_q = \frac{\Delta Q}{FL} = \frac{\Delta V \cdot \rho}{FL}, \quad (2)$$

Отсюда очевидна связь между интенсивностью линейного и массового износа:

$$I_h = \frac{I_q}{\rho}. \quad (3)$$

С помощью формул (2) – (3) переведем массовый износ в интенсивность линейного износа (табл. 2).

Таблица 1

Зависимость массового износа чугуна 300Х28Г2Р от удельных усилий и материала контртела [6]

Материал контртела	Износ кг/м ² на 1000 м пути трения			
	Удельные усилия			
	15мПа	25мПа	35мПа	50мПа
Сталь 25	0,2	0,4	1,9	3,0
Сталь 30ХА	0,2	0,6	3,2	4,4
Сталь 40ХА	0,3	0,4	3,0	3,2
Сталь 40ХНМ	0,4	0,8	3,8	4,5
Сталь 30ХГС	0,5	0,6	3,1	5,4

Таблица 2

Зависимость интенсивности линейного износа от удельных усилий и материала контртела

Материал контртела	Интенсивность линейного износа			
	Удельные усилия			
	15 мПа	25 мПа	35 мПа	50 мПа
Сталь 25	$2,67 \cdot 10^{-8}$	$5,33 \cdot 10^{-8}$	$2,53 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{-7}$
Сталь 30ХА	$2,67 \cdot 10^{-8}$	$8 \cdot 10^{-8}$	$4,27 \cdot 10^{-7}$	$5,87 \cdot 10^{-7}$
Сталь 40ХА	$4 \cdot 10^{-8}$	$5,33 \cdot 10^{-8}$	$4 \cdot 10^{-7}$	$4,27 \cdot 10^{-7}$
Сталь 40ХНМ	$5,33 \cdot 10^{-8}$	$1,07 \cdot 10^{-7}$	$5,07 \cdot 10^{-7}$	$6 \cdot 10^{-7}$
Сталь 30ХГС	$6,67 \cdot 10^{-8}$	$8 \cdot 10^{-8}$	$4,13 \cdot 10^{-7}$	$7,2 \cdot 10^{-7}$

Найдём аппроксимирующие функции $I_h = Ap^m$ для различных материалов контртела. Для этого в MS Excel построим точечный график (x – удельные усилия, y – интенсивность износа) и подберём подходящую аппроксимирующую функцию (линию тренда). На рис. 1 представлены график интенсивности износа стали 30ХГС, линия тренда и уравнение аппроксимирующей функции.

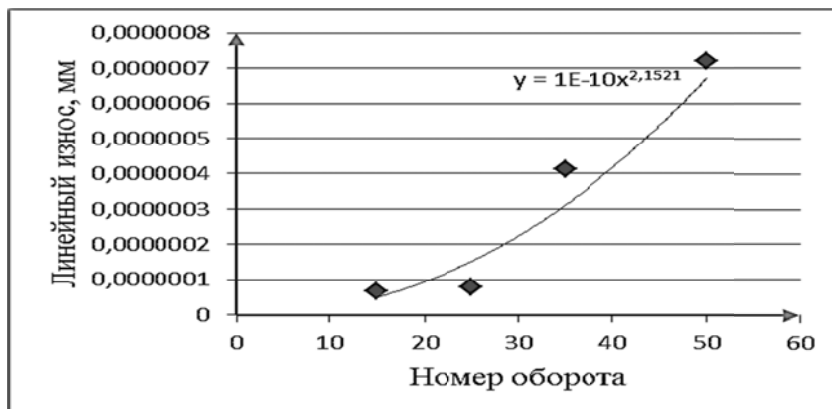


Рис. 1. Зависимость интенсивности износа от удельных усилий для стали 30ХГС

Аналогично найдём параметры уравнения интенсивности линейного износа для других материалов контртела (табл. 3).

Используя полученные коэффициенты A и m , исследуем распространение линейного износа по инструменту при тангенциальной обкатке труб.

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. Поэтому необходимо рассматривать последовательное движение заготовки вдоль инструмента и вычислять линейный износ каждого участка инструмента пооборотно.

Таблица 3

Параметры уравнения интенсивности износа

Материал контртела	A	m
Сталь 25	$3 \cdot 10^{-11}$	2,4151
Сталь 30ХА	$1 \cdot 10^{-11}$	2,7593
Сталь 40ХА	$7 \cdot 10^{-11}$	2,2514
Сталь 40ХНМ	$1 \cdot 10^{-10}$	2,2092
Сталь 30ХГС	$1 \cdot 10^{-10}$	2,1521

В работе [8] выведена зависимость линейного износа от параметров (характеристик) процесса тангенциальной обкатки.

$$\Delta h = \frac{I_h \cdot b_{cp} \cdot \pi \cdot D_{cp} \cdot n_z \cdot t}{l_u}, \quad (4)$$

где I_h – интенсивность линейного износа,

b_{cp} – ширина площадки контакта,

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

n_z – частота вращения заготовки,

t – время контакта участка инструмента и заготовки,

l_u – длина инструмента трения.

Значения величин, входящих в зависимость (4) определяем следующим образом.

Зависимость интенсивности линейного износа от нагрузки при прочих постоянных факторах:

$$I_h = A p_{cp}^m, \quad (1)$$

Для сферических днищ зависимость среднего давления металла на инструмент может быть представлена в виде [9]:

$$p_{cp} = 13,4 \cdot \mu \cdot \frac{s_0 \sigma_s}{b_{cp} \sqrt{3}}, \quad (5)$$

где μ – коэффициент трения,

σ_s – сопротивление деформации,

s_0 – начальная толщина стенки деформируемой заготовки.

Коэффициент трения вычисляем по формуле [9]:

$$\mu = 0,274 + 0,03 \cdot \frac{T - 925}{125} - 0,245 \cdot 10^{-1} \cdot \frac{s_0 - 0,121}{0,042}. \quad (6)$$

Сопротивление деформации σ_s зависит от угла наклона φ к оси заготовки текущей поверхности инструмента [1]:

$$\sigma_s = \sigma_{TH} + \frac{2 \cdot \varphi \cdot (\sigma_{TK} - \sigma_{TH})}{\pi}, \quad (7)$$

где σ_{TH} – сопротивление деформации в начале обкатки,

σ_{TK} – сопротивление деформации в конце обкатки.

Геометрические параметры площади контакта находим по формулам [9]:

$$b_{cp} = \frac{F}{\rho_k - R \cdot \varphi}. \quad (8)$$

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

$$b_T = \sqrt{\frac{2 \cdot (\rho_k - R\varphi) \cdot \Delta \varphi}{\cos \varphi} \cdot (R_0 - R \cdot (1 - \cos \varphi) - (\rho_k - R\varphi) \cdot \sin \varphi)}, \quad (9)$$

$$D_{cp} = 2 \cdot b_c = \frac{8}{3\pi} b_T, \quad (10)$$

где R – радиус заготовки,

R_0 – текущий радиус заготовки,

φ – текущий угол,

ρ_k – длина образующей.

Вычислим линейный износ инструментов трения для обкатки сферического днища диаметром 51 мм, толщиной стенки 2 мм, частота вращения заготовки 600 об/мин, температура нагрева заготовки 900 °С, угол подъема 2 °/об, сопротивление деформации в начале обкатки $\sigma_{TH} = 12,3$ Мпа, сопротивление деформации в конце обкатки $\sigma_{TK} = 31,4$ Мпа из стали 30 ХГС. Результаты вычислений линейного износа для некоторых оборотов представлены в табл. 4 и проиллюстрированы на рис. 2.

Таблица 4

Линейный износ инструмента трения

Номер оборота	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Линейный износ, 10^{-5} мм	1,27	3,75	5,14	5,88	6,05	5,67	4,76	3,38	1,7	1,56

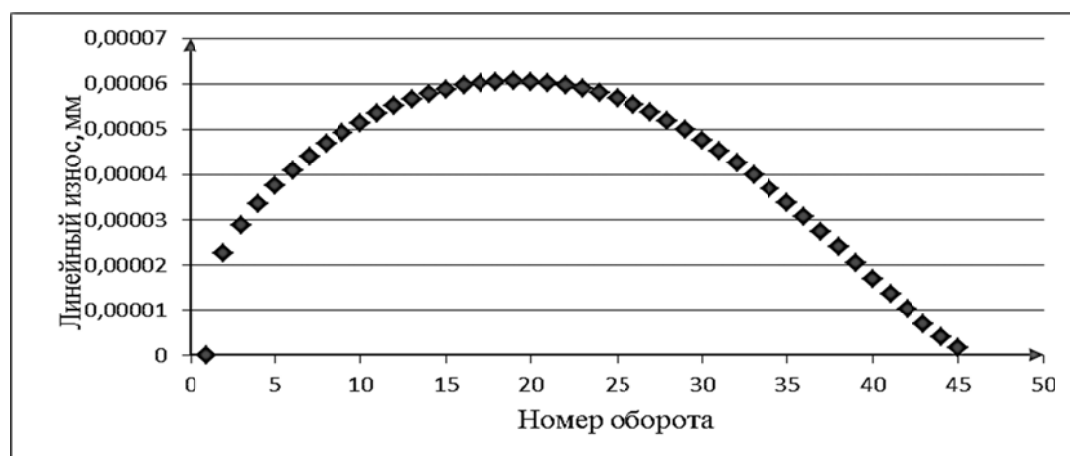


Рис. 2. Распределение линейного износа по инструменту

Таким образом, линейный износ по инструменту распределён неравномерно. Наибольший износ наблюдаем на участке инструмента, который соответствует подъёму образующей на 35° – 40° .

Количество обкатанных заготовок N одним инструментом до достижения предельного отклонения размера инструмента от номинального размера вследствие износа может быть вычислено по формуле:

$$N = \frac{\Delta h_{\max}}{\Delta h_{\max}^*} \quad (11)$$

где Δh_{\max} – максимально допустимое отклонение геометрических размеров инструмента от номинальных размеров,

Δh_{\max}^* – наибольший линейный износ участка инструмента при одном проходе инструмента.

Максимально допустимое отклонение геометрических размеров инструмента для этого технологического процесса является 0,6 мм.

Наибольший линейный износ $6,05 \cdot 10^{-5}$ мм наблюдаем на участке инструмента, который соответствует подъёму образующей на 38° .

С помощью формулы (11) определим предположительную стойкость инструмента трения:

$$N = \frac{0,6}{6,05 \cdot 10^{-5}} = 9917$$

Таким образом, предположительная максимальная стойкость инструмента трения не превышает 9900 обкатанных заготовок.

ВЫВОДЫ

1. На основании экспериментальных данных определены параметры уравнения интенсивности линейного износа инструмента трения для тангенциальной обкатки труб, которые характеризуют материалы заготовки и инструмента, температурные условия процесса обкатки.
2. Линейный износ по инструменту трения для тангенциальной обкатки труб распределён неравномерно. Наибольший износ наблюдаем на участке инструмента, который соответствует подъёму образующей на 35° – 40° .
3. Предложена методика определения стойкости инструмента трения как количество обкатанных заготовок до достижения предельного отклонения размеров инструмента от номинального размера.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капорович В. Г. *Производство деталей из труб обкаткой*. / В. Г. Капорович. – М. : Машиностроение, 1978. – 136 с.
2. Капорович В. Г. *Обкатка в производстве металлоизделий*. / В. Г. Капорович. – М. : Машиностроение, 1973. – 168 с.
3. Капорович В. Г. *Стойкость инструмента для роторной обкатки трубчатых заготовок*. / В. Г. Капорович, В. К. Удовенко, В. Г. Середа // *Надёжность режущего инструмента*. – Донецк, 1975, – Выпуск 2.
4. 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.
5. Крагельский И. В. *Основы расчетов на трение и износ*. / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М. : Машиностроение. – 1977.
6. *Исследование стойкости инструмента для обкатки трубчатых заготовок по усовершенствованной технологии : Отчёт по НИР / Краматорский индустриальный институт X-05-82 №ГР 0182.6013942. Инв. № 0284.0 009194 – Краматорск, 1983 – 28 с.*

7. Александров Б. И. Методика определения износостойкости деталей, работающих в условиях высокотемпературного трения [Электронный ресурс] / Б. И. Александров. // http://www.rusnauka.com/18_EN_2009/Tecnic/48605.doc.htm.

8. Горбач Е. В. Исследование зависимости линейного износа инструмента трения от длины инструмента при горячей обкатке трубчатых заготовок. / Е. В. Горбач, В. Г. Серeda, В. А. Паламарчук // *Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 3 (36) – С. 190–194.*

9. Производство изделий машиностроения горячей обкаткой / Под ред. В. С. Рыжикова, В. К. Удовенко. – Краматорск : ДГМА, 2006. – 284 с. ISBN 966-379-067-9.

REFERENCES

1. Kaporovich V. G. *Proizvodstvo detalej iz trub obkatkoj.* / V. G. Kaporovich. – M. : Mashinostroenie, 1978. – 136 s.

2. Kaporovich V. G. *Obkatka v proizvodstve metalloizdelij.* / V. G. Kaporovich. – M. : Mashinostroenie, 1973. – 168s.

3. Kaporovich V. G. *Stojkost' instrumenta dlja rotornoj obkatki trubchatyh zagotovok.* / V. G. Kaporovich, V. K. Udovenko, V. G. Sereda // *Nadjozhnost' rezhushhego instrumenta.* – Doneck, 1975, – Vypusk 2.

4. Kuz'menko A. G. *Metod ispytanj na iznos po sheme «Vrashhajushhijsa cilindr-ploskost'»* / A. G. Kuz'menko, O. P. Babak // *Problemi tribologii,* 2000. – № 2, S. 116–124.

5. Kragel'skij I. V. *Osnovy raschetov na trenie i iznos.* / I. V. Kragel'skij, M. N. Dobychin, V. S. Kombalov. – M. : Mashinostroenie. – 1977.

6. *Issledovanie stojkosti instrumenta dlja obkatki trubchatyh zagotovok po usovershenstvovannoj tehnologii : Otchjot po NIR / Kramatorskij industrial'nyj institut H-05-82 №GR 0182.6013942. Inv. № 0284.0 009194 – Kramatorsk, 1983 – 28 s.*

7. Александров Б. И. Методика определения износостойкости деталей, работающих в условиях высокотемпературного трения [Электронный ресурс] / Б. И. Александров. // http://www.rusnauka.com/18_EN_2009/Tecnic/48605.doc.htm.

8. Горбач Е. В. Исследование зависимости линейного износа инструмента трения от длины инструмента при горячей обкатке трубчатых заготовок. / Е. В. Горбач, В. Г. Серeda, В. А. Паламарчук // *Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 3 (36) – С. 190–194.*

9. Производство изделий машиностроения горячей обкаткой / Под ред. В. С. Рыжикова, В. К. Удовенко. – Краматорск : ДГМА, 2006. – 284 с. ISBN 966-379-067-9.

Горбач Е. В. – аспирант ДГМА
Паламарчук В. А. – канд. техн. наук, доц. ДГМА
Серeda В. Г. – канд. техн. наук, доц. ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: vm@dgma.donetsk.ua