

ОСОБЕННОСТИ ИЗНОСА КОНИЧЕСКИХ ТРИБОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ СКОЛЬЖЕНИЯ, СМАЗКИ И ВИБРАЦИИ

Рассмотрены закономерности износа двух участков конической трибосистемы: 1-й участок – 20 % всех поверхностей, которые выполняют функцию каркаса и обеспечивают автономную работу двух секций питателя и 2-й участок – 80 % всех поверхностей, состоящих из двух секций, которые выполняют функции загрузочного устройства и функции запорного устройства.

Ключевые слова: конусность, износ, компенсация зазора, амплитуда, вибрация, скольжение, смазка.

Введение

Начиная с 1949 года использование конических трибосистем (КТС) в качестве загрузочного устройства варочного котла, находящегося под высоким давлением (1,2 МПа), древесной щепой с помощью щелочи (температура 160 °С) показали высокую эффективность. Они обеспечивают работу варочного котла в автоматическом режиме, непрерывно в течении года. Такие установки, их более 500 штук в мире (75 в России, 150 в Америке) вырабатывают более 85 % целлюлозы, из которой изготавливается писчая бумага [1, 2].

В технической литературе отсутствует информация, каким видом износа подвергаются рабочие поверхности питателей КТС, каким образом они влияют на эксплуатационную надежность, срок службы и ремонтнопригодность деталей питателя КТС.

Анализ работ [1, 2] показал, что условно все конические сопрягаемые поверхности вращающегося ротора и неподвижного корпуса питателя КТС можно разделить на два характерных участка.

1-й участок – основание и средние перемычки ротора и корпуса (20 конических поверхностей). Их назначение:

1) они являются каркасом, на котором крепятся две секции ротора и корпуса;

2) средние перемычки ротора и корпуса разделяют секции и обеспечивают их автономную работу;

3) основание ротора и корпуса ограничивают секции по бокам и сохраняют в них необходимый перепад давления 1,2 МПа.

2-й участок – две секции ротора и корпуса (на них приходится 80 % всех рабочих конических поверхностей), и они выполняют функции:

1) загрузка гидросмеси через окна корпуса и сквозные карманы вращающегося ротора в вертикальной плоскости гидросмеси;

2) выгрузка гидросмеси через окна корпуса и сквозные карманы вращающегося ротора в горизонтальной плоскости гидросмеси. На окна загрузки и выгрузки ротора и корпуса приходится 40 % всех конических поверхностей.

3) запорные функции выполняют четыре сектора конических поверхностей питателя КТС и (на них приходится 50 % поверхностей), расположен диаметрально и разделены окнами загрузки и выгрузки.

Цель и задачи

Целью исследований является получить распределение износа по рабочим поверхностям деталей питателя и установить общие закономерности износа и их влияние на надежность, срок службы и ремонтнопригодность питателя КТС.

Решение задачи

Для решения поставленных задач использовались действующие промышленные установки типа Камюр, на которых после эксплуатации и разборки питателей определяли геометрические размеры всех участков ротора и корпуса, величину износа. Величину износа по коническим поверхностям ротора и корпуса определяли с помощью индикатора часового типа, устанавливаемого на суппорте (замеры износа ротора) и карусельном станке (замеры износа корпуса) с точностью + 0, 005 мм. Экспериментальный материал был собран и обработан на более чем пятидесяти деталях питателя, производительностью 500 т/сутки на разных предприятиях [1, 2].

На основании проведенных исследований на рис. 1 построены индикаторные рисунки износа в аксонометрии для двух характерных участков ротора. Из рисунка видно, что износ ротора существенно влияет на формирование зазора в питателе между корпусом и вращающимся ротором.

На первом и втором участках ротора величина зазоров в питателях КТС с учетом таблицы 1 можно выразить математической зависимостью

$$\delta_1 = \delta_0 + K_1 \tau + A p_1 \cdot K / 2 = 100 + 2,3 \cdot 1 + 1000 \cdot \frac{1}{20 \cdot 2} = 2,3; \quad (1)$$

$$\delta_2 = \delta_0 + K_2 \cdot \tau^3 + (A p_2 + K_2 \cdot \tau) K / 2 = 100 + 3,2 \cdot 1^3 \cdot \frac{1}{20 \cdot 2} = 3,2, \quad (2)$$

где δ_1 и δ_2 – величина зазоров индикаторных рисунков на 1-м и 2-м участках ротора в любой момент вре-

мени, мкм; δ_0 – исходная средняя величина зазора в питателе перед эксплуатацией; K_1 и K_2 – коэффициент пропорциональности линейной зависимости и кубической параболы третьего порядка; мкм; τ – время эксплуатации питателя между компенсациями зазора, сутки; A_{p1} , A_{p2} – амплитуды колебания на соответствующих участках ротора до и после эксплуатации; мкм; $K = 1/20$ – конусность ротора.

Рассмотрим составляющие величины, входящие в формулы (1) и (2).

1. Исходная средняя величина зазора в питателе перед эксплуатацией

Эта величина зазора зависит от следующих факторов: 1) от величины и времени приработки деталей питателя; 2) от протечек щелочи, поступающих в питательную трубу и определяющих высоту уровня щелочи в ней и 3) от нагрузки на привод ротора.

С учетом этих факторов величина зазора должна быть минимальной с одной стороны и иметь минимальную нагрузку на привод ротора. Эта величина (табл. 1) достигает $\delta_0 = 100$ мкм.

2. Характер кривых износа при эксплуатации

Опыт эксплуатации показывает, что на 1-м участке ротора величина износа описывается по линейному закону. Коэффициент параболы для сопрягаемых материалов монель-металл-1Х13 равен $K_1 = 2,3$ (табл. 1).

Во втором случае антифрикционная пара монель-металл-1Х13 менее износостойкая и быстрее изнашивается. Это явление положительное, так как при этом меньше вероятность возникновения явлений заклинивания, заедания и схватывания ротора относительно корпуса при выполнении компенсации зазора.

Характер кривых износа на 2-м участке ротора описывается параболой 3-го порядка и зависит от используемых материалов. Для материалов монель-металл-1Х13 (табл. 1) коэффициент пары $K_2 = 3,2$; для материалов 40Х13-1Х13 – $K_2 = 1,6$; во втором случае износостойкость материалов выше, чем в 1-м случае и, следовательно, величины износа будут меньше, а срок службы питателя будет больше.

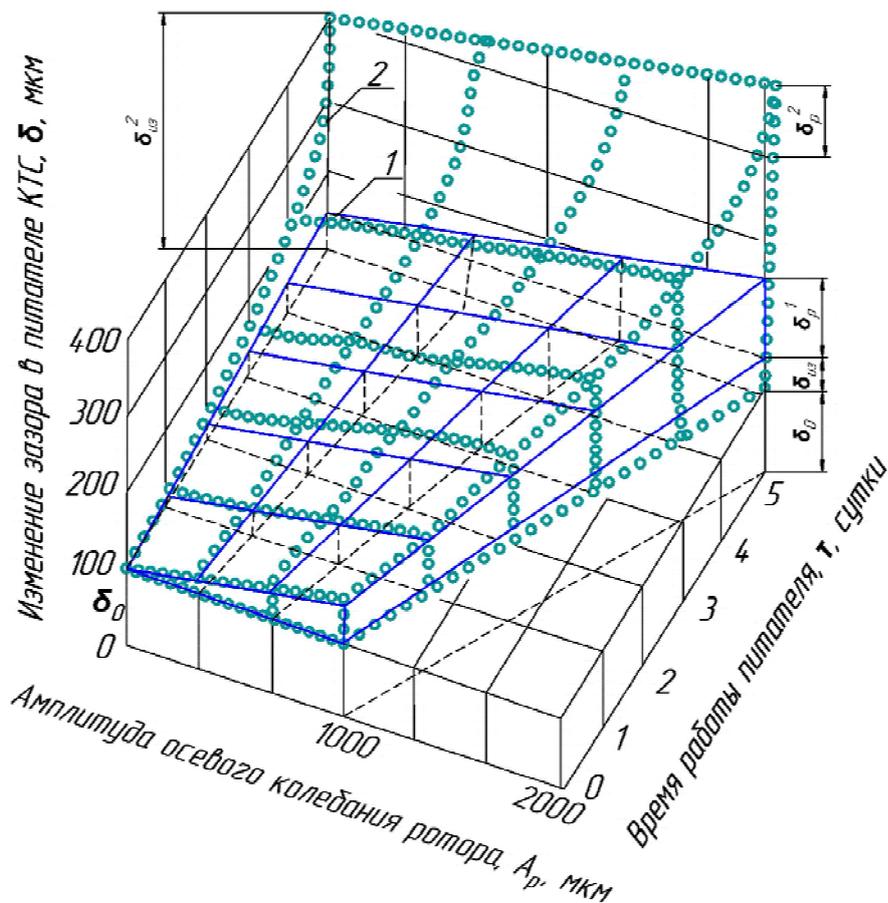


Рис. 1. Зависимость изменения зазора в питателе КТС в зависимости от:

- 1) индикаторных рисунков износа ротора; 2) амплитуды осевого перемещения ротора (A_p) и 3) времени работы питателя КТС (τ , сутки); 1-й участок – индикаторные рисунки износа на основаниях и средних перемышках ротора; 2-й участок – индикаторный рисунок износа ротора в двух секциях питателя между окнами

Таблица 1 – Изменение физических величин в питателе КТС в зависимости от времени работы при частоте вращения $n = 5 \text{ мин}^{-1}$

Физические характеристики: числитель – основания и средние переемычки деталей (1), знаменатель – конические поверхности между окнами деталей (2)	Время работы питателя КТС, τ , сутки				
	1	2	3	4	5
Материалы: 1. (Монель-металл)-1X13 / 2. (Монель-металл)-1X13					
1.1 Исходный зазор в питателе, δ_0 , мкм	$\frac{100}{100}$	–	–	–	–
1.2 Увеличение износа в процессе работы: $\sigma_{из}^1 = k_1 \cdot \tau = 2,3 \cdot \tau = 2,3 \cdot 1 = 2,3$ мкм $\sigma_{из}^2 = k_2 \cdot \tau^3 = 3,2 \cdot \tau^3 = 3,2 \cdot 1^3 = 3,2$ мкм	$\frac{2,3}{3,2}$	$\frac{4,6}{19,2}$	$\frac{6,9}{86,4}$	$\frac{9,2}{204,8}$	$\frac{11,5}{400}$
1.3 Полная величина зазора в питателе $\frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{\delta_0^1 + \delta_{из}^1}{\delta_0^2 + \delta_{из}^2}$ мкм	$\frac{25}{25}$	$\frac{31,25}{31,25}$	$\frac{37,5}{37,5}$	$\frac{43,75}{43,75}$	$\frac{50}{50}$
1.4 Величина амплитуды осевого перемещения ротора, A_p , мкм $A_p = A_{p1} + k_{11} \cdot \tau = 1000 + 250 \cdot \tau$ $A_p = A_{p2} + k_{22} \cdot \tau$	$\frac{1000}{1000}$	$\frac{1250}{1250}$	$\frac{1500}{1500}$	$\frac{1750}{1750}$	$\frac{2000}{2000}$
1.5 Увеличения зазора от гидроударов, δ_p^1 / δ_p^2 , мкм/мкм $\delta_p^1 = A_p^1 \cdot \frac{K}{2} = 1250 \cdot \frac{1}{20 \cdot 2} = 25$ $\delta_p^2 = A_p^2 \cdot \frac{K}{2} = 1250 \cdot \frac{1}{20 \cdot 2} = 25$	$\frac{25}{25}$	$\frac{31,25}{31,25}$	$\frac{37,5}{37,5}$	$\frac{43,75}{43,75}$	$\frac{50}{50}$
1.6 Разность зазора между 2-м и 1-м участками деталей КТС, $\Delta = \delta_2 - \delta_1$, мкм	0,9	14,6	79,5	195,6	388,5
Уровень щелочи в питательной трубе, H , мм	0,6	0,75	0,9	1,05	1,2
Нагрузка на привод ротора, A_a , А	18-20	18-20	18-20	18-20	18-20
Компенсации критического зазора (ККЗ) 2.1 Осевые перемещения ротора, Π_p , мкм	2000	2000	2000	2000	2000
2.2 Уменьшение зазора при ККЗ, мкм $S_{ккз} = \Pi_p \cdot \frac{\kappa}{2} = 2000 \cdot \frac{1}{40} = 50$	–	–	–	–	50
2.3 Уменьшение зазора на участках 1 и 2 КТС $\Delta_1 = \delta_{из}^1 - \Delta_{ккз} = 11,5 - 50 = -38,5$ мкм $\Delta_2 = \delta_2 - \Delta_{ккз} = 400 - 50 = 350$ мкм					$\frac{-38,5}{350}$
2.4 Нагрузка на привод ротора, A_p , А					85-90
3.5 ПМТКЗ Осевое перемещение ротора, A_p , мкм Уменьшение зазора в питателе, мкм Нагрузка на привод ротора, A	250 6,25 18-22	–	–	–	–
Материалы: 1. (Монель-металл)-40X13 / 2. 40X13-1X13					
3.1 Исходная величина зазора в питателе, δ_0 , мкм	$\frac{100}{100}$	–	–	–	–
3.2 Увеличение износа в процессе работы: $\sigma_{из}^1 = k_1 \cdot \tau = 11,8 \cdot \tau = 11,8 \cdot 1 = 11,8$ мкм $\sigma_{из}^2 = k_2 \cdot \tau^3 = 1,6 \cdot \tau^3 = 1,6 \cdot 1^3 = 1,6$ мкм	$\frac{11,8}{1,6}$	$\frac{23,6}{12,8}$	$\frac{35,4}{43,2}$	$\frac{47,2}{102,4}$	$\frac{59}{200}$
3.3 Полное увеличение зазоров питателя: $\frac{\delta_1}{\delta_2} = \frac{\delta_0^1 + \delta_{из}^1}{\delta_0^2 + \delta_{из}^2}$ мкм	$\frac{111,8}{101,6}$	$\frac{123,6}{112,8}$	$\frac{135,4}{143,2}$	$\frac{147,2}{202,4}$	$\frac{159}{300}$
$\frac{\delta_1}{\delta_2}$ %	$\frac{100}{100}$	$\frac{110,5}{111,0}$	$\frac{121,1}{140,9}$	$\frac{131,6}{199,2}$	$\frac{142,2}{295,2}$
3.4 Величина амплитуды осевого перемещения ротора $A_p^1 = A_{p1} + k_{11} \cdot \tau = 1000 + 150 \cdot \tau$ $A_p^2 = A_{p2} + k_{22} \cdot \tau = 1000 + 150 \cdot \tau$	$\frac{1000}{1000}$	$\frac{1150}{1150}$	$\frac{1300}{1300}$	$\frac{1450}{1450}$	$\frac{1600}{1600}$

3. Величина амплитуды осевого перемещения ротора

Согласно работ [1, 2, 3] в карманах вращающегося ротора возникают гидравлические удары, которые обуславливают осевые колебания ротора. Колебания ротора после приработки деталей питателя КТС достигают 1000 мкм. После эксплуатации величина колебаний, в зависимости от используемых материалов на 2-м участке ротора, достигает величины $A_{p1} = 2000$ мкм и $A_{p2} = 1600$ мкм. Амплитуда осевых колебаний ротора зависит от износостойкости сопрягаемых материалов на 1-м участке основной и средней перемычек ротора и корпуса и не зависит от износостойкости материалов на 2-м участке ротора и определяется по формуле:

$$A_p^1 = A_{p1} + K_{11} \cdot \tau = 1000 + 250 \cdot 1 = 1250; \quad (3)$$

$$A_p^2 = A_{p2} + K_{22} \cdot \tau = 1000 + 250 \cdot 1 = 1250. \quad (4)$$

4. Величина амплитуды изменения величины зазора от гидроударов зависит от амплитуды осевого колебания ротора и используемой конусности

$$\delta_p^1 = A_p^1 \cdot \frac{K}{2} = 1250 \cdot \frac{1}{20 \cdot 2} = 25; \quad (5)$$

$$\delta_p^2 = A_p^2 \cdot \frac{K}{2} = 1250 \cdot \frac{1}{20 \cdot 2} = 25. \quad (6)$$

5. Разность величины зазора на участках 2 и 1 определяется по формуле:

$$D = \delta_p^2 - \delta_p^1 = (A_p^1 + K_{22} \cdot \tau) \cdot \frac{K}{2} - (A_p^2 \cdot K_{22} \cdot \tau) \cdot \frac{K}{2} = \frac{K}{2} (K_{22} - K_{11}) \cdot \tau \quad (7)$$

и зависит от разности коэффициентов пропорциональности кривых износа.

Из анализа разности величин зазора на участках 2 и 1 видно, что в начале эксплуатации эти величины положительны для материала 1. Монель-металл-40X13 (2. Монель-металл-40X13) и отрицательны для материала 1. Монель-металл-1X13(2.40X13-1X13). Сочетание материалов во втором случае более благоприятно, так как в первые сутки эксплуатации износ по основаниям и средним перемычкам больше, чем по секциям и, следовательно, явления заклинивания, схватывания и заедания ротора относительно корпуса на этих участках мало вероятно.

6. Уровень щелочи в питательной трубе (табл. 1) возрастает пропорционально величине зазора. Это объясняется ростом протечек щелочи, поступающих из питателя КТС в питательную трубу. При этом нагрузка на привод ротора сохраняет свои значения постоянными и колеблется в пределе $A_a = 1 \dots 8 \dots 20$ А.

7. Компенсация зазора. При компенсации критического зазора (ККЗ) осуществляется осевое перемещение ротора на два деления, 2 мм (2000 мкм). При этом происходит уменьшение зазора на величину

$$S_{ККЗ} = Pp \cdot \frac{K}{2} = 2000 \cdot \frac{1}{20 \cdot 2} = 50, \quad (8)$$

где $S_{ККЗ}$ – величина компенсации критического зазора (ККЗ).

При этом величина зазора на первом участке ротора (табл. 1) и износостойкость материала уменьшается согласно уравнению на величину:

$$\Delta l = \delta u_3^1 - \Delta ККЗ = 11,5 - 50 = -38,5. \quad (9)$$

Отрицательный знак износа деталей КТС на 1-м участке показывает, что для того чтобы уменьшить зазор на 1-м участке ротора по 50 мкм необходимо принудительно, в течении нескольких минут износить сопрягаемую поверхность ротора при выполнении очередных компенсаций зазора.

Такой вид компенсации зазора сопровождается явлениями заклинивания, схватывания и заедания, вращающегося ротора относительно корпуса, а это приводит к снятию питателя с эксплуатации.

При этом возрастает нагрузка на привод ротора в 4...4,5 раза. Использование схемы ККЗ вынудило производителей увеличить мощность двигателя привода с 8 кВт до 40 кВт и более, что привело к частым разрушениям цапф ротора.

Для устранения перечисленных недостатков была разработана и внедрена в производство принудительная микротолчковая компенсатора зазора (ПМКТКЗ). Суть ее состоит в том, что компенсация зазора выполняется не один раз в 5-7 суток на величину 50 мкм, а один раз в сутки на величину 6,25 мкм (осевое перемещение ротора на 250 МКМ или поворот маховика присадки ротора на 90 градусов ($\frac{1}{4}$ часть оборота)).

При этом нагрузка на привод ротора практически не возрастает (показания амперметра изменяются от 18-20 до 20-22 А).

Использование менее износостойких материалов замена 40X13 на 12X18Н10Т позволяет существенно увеличить износ на 1-м участке (основания и средних перемычки) ротора за 5 дней эксплуатации до 50 мкм и при последующей ККЗ снизить явление самозаклинивания, схватывания и заедания ротора относительно корпуса.

Выводы

1. Установлено, что все конические поверхности ротора и корпуса питателя КТС по величине и механизму износа можно разделить на два участка: 1) основания и средние перемычки ротора и корпуса – на их долю приходится 20 % всех конических поверхностей; 2) конические поверхности ротора и корпуса по длине окружности между окнами и по образующей,

между основаниями и средней перемычкой ротора и корпуса – на их долю приходится 80 % конических поверхностей.

2. Износ на 1-м участке ротора и корпуса на порядок меньше, чем на 2-м участке, а величина износа зависит от: 1) скорости скольжения ротора относительно корпуса; 2) изменения зазора в питателе; 3) концентрации абразивных частиц в щелочи; и 4) расхода и скорости прохождения протечек щелочи через вибрирующий зазор и зависит от срока службы в первой степени.

3. Основание и средние перемычки ротора и корпуса подвергаются вибро-гидро-абразивному износу, величина которого зависит от: 1) скорости скольжения; 2) концентрации абразивных частиц в щелочи; 3) амплитуды возвратно-поступательного перемещения щелочи в вибрирующем зазоре и 4) бокового избыточного давления щелочи в зазоре.

4. Срок службы питателя КТС зависит от износостойкости используемых материалов на 2-м участке, а надежность компенсации зазора зависит от антифрикционных характеристик материала на 1-м участке ротора и используемых материалов при ремонте.

5. Использование менее износостойких материалов на основаниях и средних перемычках, например, 1X13 взамен 40X13 позволяет существенно облегчить процесс компенсации зазора. И, следовательно, надежность работы питателя.

Перечень ссылок

1. Камель Г. И. Роторные питатели установок непрерывной варки целлюлозы / Г. И. Камель. – М. : Лесная промышленность, 1987. – 160 с.
2. Нечаев Г. И. Повышение надежности и продуктивности загрузочных устройств непрерывной варки целлюлозы и полуцеллюлозы / Г. И. Нечаев, Г. И. Камель. – Луганск : Изд-во СНУ им. В. Даля, 2005. – 392 с.

Одержано 13.02.2009

A. G. Yakovleva, G. I. Kamel

FEATURES OF CONICAL TRIBOSYSTEM WEAR IN THE CONDITIONS OF SLIDING, GREASING AND VIBRATION

Розглянуто закономірності зношування двох ділянок конічної трібосистеми: 1-а ділянка – 20 % всіх поверхонь, які виконують функції каркаса і забезпечують автономну роботу двох секцій живильника і 2-а ділянка – 80 % всіх поверхонь, що складаються з двох секцій, які виконують функції завантажувального пристрою і функції запорного пристрою.

Ключові слова: конусність, зношування, компенсація зазору, амплітуда, вібрація, ковзання, змащування.

Wear regularities of two areas of conical tribosystem are considered: the 1st area is 20 % of all surfaces, which execute the functions of framework and provide autonomous work of two feeder sections and 2nd area is 80 % of all surfaces, consisting of two sections which execute the functions of load device and function of plug-forming device.

Key words: cone, wear, compensation of gap, amplitude, vibration, sliding, greasing.