

4. Получены математические зависимости для определения суммарного износа сопрягаемых деталей, величины углов конусности и уклонов сопряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костецкий Б.Н., Носовский Н.П., Бершадский Л.Н. Надежность и долговечность машин. К.: Техніка, 1975, 408с.
2. Нечаев Г.И., Камель Г.И. Повышение надежности и продуктивности загрузочных устройств непрерывной варки целлюлозы и полуцеллюлозы: монография. Луганск: Восточно-укр. нац. ун-т им. В.Даля, 2005. 392с.
3. Камель Г.И. Роторные питатели установок непрерывной варки целлюлозы: монография. М.: Лесная промышленность, 1987. 160с.

Поступила в редколлегию 28.02.2019.

УДК 671.791

DOI 10.31319/2519-2884.34.2019.9

КАМЕЛЬ Г.И.* , д.т.н., профессор
ГАСИЛО Ю.А., к.т.н., доцент
ИВЧЕНКО П.С., к.т.н., доцент
ВОЛКОВ Г.П.* , к.т.н., доцент
ЗАДОЯ Н.О.* , к.т.н., доцент

Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское
*Запорожский авиационный колледж им. О.Г.Ивченко

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗНОСА СОПРЯГАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ОСНОВАНИЙ И СРЕДНИХ ПЕРЕМЫЧЕК ДЕТАЛЕЙ КОНИЧЕСКИХ ТРИБОСИСТЕМ

Введение. Основания и средние перемычки ротора (вращаются) и корпуса (неподвижные) выполняют следующие функции: обеспечивают автономную работу двух секций; осуществляют автономную работу циркуляции щелочи высокого и низкого давлений; являются каркасом, на котором удерживаются остальные детали, обеспечивающие выполнение всех функций питателя высокого давления (ПВД); поддерживают разность давлений между секциями.

Постановка задачи. Согласно работе [1] из всех видов отказов оборудования транспортно-загрузочной системы (ТЗС) на долю роторного питателя высокого давления (ПВД) приходится 80%, а в самом роторном ПВД 95% всех отказов приходится на выполнение технологической операции компенсации критического зазора (ККЗ). ККЗ выполняется оператором вручную при осевом перемещении конического ротора вглубь конического корпуса. При уменьшении зазора в роторном ПВД конических трибосистем (КТС) происходят сложные триботехнические процессы, которые мало освещены в технической литературе. Известно [1], что на долю оснований и средних перемычек (О и СП) ротора и корпуса приходится от 10 до 25% всех рабочих конических сопрягаемых поверхностей КТС.

Цель исследования – установить закономерности сопряжений и износа в процессе трения в контактном пространстве фрикционных пар оснований и средних перемычек ротора и корпуса.

Результаты работы. Объектом исследования выбраны конические роторные питатели шведской фирмы Камюр, которые осуществляют непрерывно в течение года транспортирование и загрузку варочного котла древесной щепой под высоким давлением.

Условно все сопрягаемые поверхности ротора и корпуса КТС, согласно работе [1], делятся на три характерных участка:

1-й участок – окна корпуса и окна карманов ротора. Они составляют 40% всех поверхностей и через них с помощью насосов циркуляции выполняются загрузка и выгрузка технологической щепы в варочный котел;

2-й участок – рабочие поверхности ротора и корпуса по длине окружности между окнами. Эти участки выполняют функции запорного устройства. Между вращающимся ротором и неподвижным корпусом имеется определенный зазор, величина которого при сборке достигает 50 мкм, а в процессе эксплуатации его величина возрастает до критических величин. Через эти зазоры из варочного котла (давление 1,2МПа) циркулирует щелочь в питательную трубу (давление 0,15МПа). Расход протечек щелочи через зазоры определяется по формуле [1]

$$Q_{II} = \frac{(P_K - P_{II}) \cdot L \cdot \delta_0^3}{6 \cdot \eta \cdot l}, \quad (1)$$

где Q_{II} – протечки щелочи на одном из участков корпуса, м³/с; P_K и P_{II} – давление щелочи в варочном котле и питательной трубе, МПа; L – длина по образующей сопряжения окон корпуса и ротора, м; δ_0 – средняя величина зазора в сопряжении, мкм; η – кинематический коэффициент вязкости щелочи, м²/с; l – длина зазора по длине окружности, м.

Анализ формулы (1) показывает, что переменной величиной является зазор δ_0 , который в процессе эксплуатации увеличивается до критической величины, и для его уменьшения используется компенсация зазора.

Второй переменной величиной является длина зазора по окружности, значение которой определяется по формуле

$$l = l_{\min} + A \cdot \sin(\omega t + \varphi_1), \quad (2)$$

где l_{\min} , l_{\max} – минимальная и максимальная длины зазора на участке корпуса, м;

$A = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{2}$ – амплитуда изменения длины зазора на участке корпуса; φ_1 – угол поворота ротора, град.; ω – частота вращения ротора, с⁻¹.

Таким образом, индикаторные рисунки износа рабочих поверхностей ротора и корпуса между окнами формируются под действием протечки щелочи в зазоре, а его величина (при постоянном зазоре) зависит от длины зазора. При минимальной длине зазора между участками ротора и корпуса расход и скорость протечки щелочи максимальный, а при максимальной длине зазора расход и скорость протечки щелочи минимальные и, следовательно, износ небольшой. За счет синусоидального закона изменения зазора можно объяснить неравномерный износ рабочих поверхностей ротора и корпуса по длине окружности. Характер индикаторных кривых износа описывается параболой четвертого порядка, а на участках корпуса – полупараболами четвертого порядка.

Согласно работам [2, 3] в роторном питателе возникают гидроудары в момент сопряжения задней стенки ротора с передней кромкой корпуса. На этих участках имеет место ударный гидроабразивный износ;

3-й участок – рабочие поверхности оснований и средних перемычек ротора и корпуса, которые составляют 10% всех поверхностей. Они выполняют также функции запорного устройства между секциями по образующей ротора и корпуса.

Расход протечки щелочи в зазорах между основанием и средними перемычками ротора и корпуса определяется по формуле (1).

Анализ элементов формулы (1) показывает, что здесь все величины имеют постоянные значения, в том числе и по образующей ротора.

На этих участках исключается неравномерный износ оснований и средних перемычек ротора и обеспечивается равномерный износ.

С другой стороны, согласно работам [2, 3] в роторном питателе Камюр образуются гидравлические удары, вибрации и хлопки (в дальнейшем гидроудары), которые

существенно влияют на механизм износа рабочих поверхностей оснований и средних перемычек ротора и корпуса.

В табл.1 приведены параметры гидроударов, образующихся в карманах вращающегося ротора при эксплуатации. За один оборот в диапазоне вращения ротора гидроудар образуется через каждые 1,0-2,5с. и восемь раз за оборот. Необходимо иметь в виду, что в щелочи согласно работе [1] находится определенное количество мелких (5-100 мкм) твердых частиц (шлам, песок, продукты износа и т.п.), которые не могут быть удалены при очистке щепы и щелочи и находятся во взвешенном состоянии.

Таблица 1 – Параметры гидроударов, образующихся в карманах вращающегося ротора

Параметры	Частота вращения ротора, с ⁻¹		
	2	5	8
Скорость скольжения ротора v , м/с ₁	0,135	0,225	0,034
Время одного оборота ротора t_1 , с	20	12	7,5
Количество карманов в роторе	4	4	4
Кол-во гидроударов в одном кармане ротора	2	2	2
Кол-во гидроударов в роторе за 1 оборот ротора N_1	8	8	8
Время между гидроударами t_1/N_1 , с.	2,5	1,5	0,937
Время между компенсациями зазора, с.			
1 сутки: $t_2 = 24 \cdot 60 \cdot 60$	86400	86400	86400
5 суток: $t_3 = 5 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60$	432000	432000	432000
Кол-во гидроударов между компенсациями зазора N_2			
За сутки	34560	57600	92209
За 5 суток	172800	288000	461045
Ударное давление в кармане ротора, МПа	1,15	1,15	1,15
Мгновенная скорость щелочи в плоскости фронта распространения ударной волны, м/с	0,801	0,801	0,801
Скорость распространения ударной волны, м/с	1435	1435	1435

Мгновенная скорость щелочи в плоскости фронта распространяется на панели ударной волны и направлена в разные стороны, в том числе и в узкую щель между вращающимся ротором и корпусом, а также на основания и средние перемычки ротора.

При наличии неровностей 8-10мкм и минимальном зазоре в пределах 50...100 мкм в эти зазоры за счет гидравлических ударов постоянно поступают абразивные частицы. Наличие абразивных частиц в зоне трения приводит к разрушению как самих частиц, так и межконтактных фрикционных пар поверхностей оснований и средних перемычек ротора и корпуса. В результате имеет место новая разновидность абразивного износа – гидроабразивный износ в узкой щели при принудительном поступлении твердых частиц в зону трения.

Разрушение рабочих поверхностей оснований и средних перемычек ротора и корпуса способствует увеличению зазора на этих участках и росту поступления твердых частиц в зону трения.

Интенсивность износа на 10% оснований и средних перемычек ротора и корпуса и на 50% рабочих поверхностей ротора и корпуса между окнами существенно отличается. Причем это отличие тем больше, чем больше время между компенсациями зазора. При компенсации критического зазора раз в неделю отличие в износе настолько велико, что при ККЗ на основаниях и средних перемычках ротора и корпусе имеет место заклинивание, схватывание и заедание ротора относительно корпуса.

Образование зазора на втором участке ротора и корпусе происходит по линейному закону. При увеличении зазора после эксплуатации в течение суток интенсив-

ность износа описывается уже параболой третьего порядка. В результате этого интенсивность износа на 2-м и 3-м участках резко отличается. На 2-м участке имеет место гидроабразивный износ с поступлением твердых частиц в зону трения.

При принудительной микротолчковой компенсации зазора (ПМКТКЗ) один раз в сутки разница в абсолютной интенсивности износа невелика и позволяет осуществлять ПМКТКЗ в режиме жидкостного трения-скольжения.

При работе в режиме ПМКТКЗ характер износа на двух участках имеет линейный характер, и разница между двумя этими видами износа меняется, что позволяет осуществлять ПМКТКЗ в режиме жидкостного трения.

На основании изложенного выше можно заключить, что условно конические сопрягаемые поверхности можно разделить на три зоны:

– 40% поверхности составляют окно ротора и корпуса, через которые осуществляется загрузка, транспортировка и выгрузка щелочи, щепы и гидросмеси;

– 50% поверхности приходится на рабочие поверхности ротора и корпуса по длине окружности между окнами, на которых имеет место циркуляция протечек щелочи, содержащей абразивные частицы. Эти участки подвергаются гидроабразивному и ударно-абразивному износу. Величина износа на порядок выше, чем на остальных участках в режиме ККЗ и соизмерима при ПМКТКЗ;

– 10% оснований, средних перемычек ротора и корпуса предназначены для стабильного выполнения технологических операций на 1-м и 2-м участках. На этих участках имеет место гидроабразивный износ в узких щелях при поступлении твердых частиц в зону трения.

Выводы. 1. Установлены три характерные поверхности компенсирующих деталей конической трибосистемы: а) поверхности загрузки и выгрузки щепы, щелочи и гидросмеси; б) поверхности, обеспечивающие запорные функции и нормальную работу выполнения технологических операций в 1-й зоне; в) участки поверхностей, которые обеспечивают стабильную работу питателя на 1-м и 2-м участках ротора и корпуса.

2. Установлено, что на двух рабочих поверхностях ротора и корпуса имеет место гидроабразивный износ за счет протечек щелочи в подвижном зазоре и ударный гидроабразивный износ – в результате образования гидроударов в кармане ротора. Величины этих видов износа зависят от времени компенсации зазора. Различают ККЗ и ПМКТКЗ. Компенсация износа на этих участках выше, чем на других участках.

3. Установлена природа изнашивания оснований и средних перемычек ротора и корпуса. Величина этого износа имеет линейный характер во времени и его величина соизмерима с износом на остальных участках при ПМКТКЗ и несоизмерима (намного меньше) при ККЗ.

4. Износ на основаниях и средних перемычках ротора и корпуса имеет гидравлическую природу с принудительным поступлением твердых частиц в зону трения.

В дальнейшем предполагается количественно определять составляющие износа на различных участках ротора и корпуса КТС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нечаев Г.И., Камель Г.И. Повышение надежности и продуктивности загрузочных устройств непрерывной варки целлюлозы и полуцеллюлозы: монография. Луганск: Изд-во Восточно-укр. нац. ун-та им. В.Даля, 2005. 392с.
2. Камель Г.И. Роторные питатели установок непрерывной варки целлюлозы: монография. М.: Лесная промышленность, 1987. 160с.
3. Дослідження конічних трибосполучень у промисловому транспорті: монографія / Камель Г.І., Перемітько В.В., Єршов А.В., Куліковський Р.А. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2013. 313с.

Поступила в редколлегию 18.03.2019.