

## ВЛИЯНИЕ УГЛОВОЙ ПОГРЕШНОСТИ КОЛЕЦ ТОРЦЕВОГО УПЛОТНЕНИЯ НА ЕГО РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

г. Саратов, АОТ «НИТИ-ТЕСАР»

Потребность в торцевых уплотнениях постоянно возрастает в связи с оживлением отечественной промышленности и старением парка машин, где торцевые уплотнения играют важную роль. Торцевые уплотнения вращающихся валов получили широкое распространение во всех машиностроительных отраслях промышленности. Особенно актуально их применение в нефтехимической, газовой отраслях, энергетике, коммунальном хозяйстве и т.п. Условия производства ужесточают требования к эксплуатационным характеристикам торцевых уплотнений. Их надежность в первую очередь определяется главными элементами – парой трущихся колец. Основным условием надежности является герметичность стыка торцев. Схема одного из типовых торцевых уплотнений представлена на рис.1.

Одно кольцо (невращающееся) устанавливается с зазором в отверстие фланца, который крепится к корпусу агрегата. Зазор между фланцем и кольцом герметизирован резиновым вторичным уплотнением. Второе кольцо закреплено на втулке, установленной на валу и передающей кольцу вращательное движение вала. Зазор между втулкой и кольцом также герметизирован вторичным уплотнением.

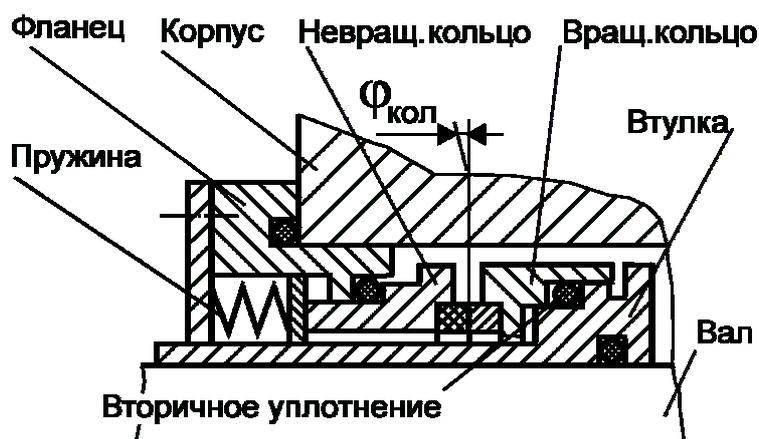


Рис. 1 Схема типового торцевого уплотнения

Кольца поджимаются друг к другу пружинами. В результате погрешностей, возникающих при изготовлении деталей, на сборке торцы колец, которые должны плотно прижиматься друг к другу, имеют перекося  $\varphi_{КОЛ}$ . Перекос устраняется самовыставкой колец в результате их взаимного перемещения на упругих вторичных уплотнениях.

Однако не смотря на то, что самовыставка колец обеспечивает параллельность их торцев и герметичность стыка, работа торцевого уплотнения при наличии исходного перекося сопровождается рядом негативных явлений, которые не учитываются при разработке торцевых уплотнений, их изготовлении и сборке.

Во-первых, как было ранее установлено, самовыставка колец, т.е. разворот их осей в параллельное положение приводит к деформации и возникновению во вторичных уплотнениях упругих моментов, а также к появлению моментов от дополнительных сил трения и моментов от инерционных сил при смещении центра тяжести колец. В результате возникает дополнительная локальная сила (перекос сил), приводящая к большим контактным удельным нагрузкам, что существенно изменяет условия трения и может вызвать “залипание” колец, их схватывание. Следствием залипания является “протаскивание” вращающимся кольцом за собой на какой – то момент невращающегося кольца и увеличение угла наклона его оси. Оси колец становятся не параллельны, т.е. происходит раскрытие и потеря герметичности.

Во – вторых, наличие перекоса изменяет фактическую площадь касания колец при трении. На рис.2 представлена схема взаимодействия поверхностей колец при повороте вращающегося кольца 2 относительно невращающегося на  $360^0$  через каждые  $90^0$ . Из рисунка видно, что в соприкосновении постоянно находится определенная часть колец, которая перемещается по площади колец, занимая одинаковое относительное расположение через один оборот вращающегося кольца. Изнашивание поверхностей происходит в контуре вращающейся заштрихованной фигуры. На нижней проекции сечения колец видно, что изнашивание поверхностей (поз.б) происходит не захватывая части наружной и внутренней периферии площади колец. В связи с этим на торцах колец образуются плоская площадка и уступы (буртики). В позици “в” кольца занимают такое относительное положение, когда уступ одного кольца “наезжает” на изношенную поверхность другого и - наоборот. При этом между кольцами образуется щель и возникает возможность разгерметизации стыка. Далее (поз.г) вращающееся кольцо смещается вправо, при этом на внешней периферии начинают появляться новые буртики, а ранее образовавшиеся взаимодействуют с плоской площадкой и постепенно углубляются в нее.

В реальности картина износа носит более сложный характер. Рельеф колец в определенной мере сглаживается, однако тенденция к образованию уступов сохраняется в течение всего периода работы пары. Это подтверждается внешним видом колец торцевых уплотнений, отказавших в эксплуатации по причине повышенного износа и потери герметичности.

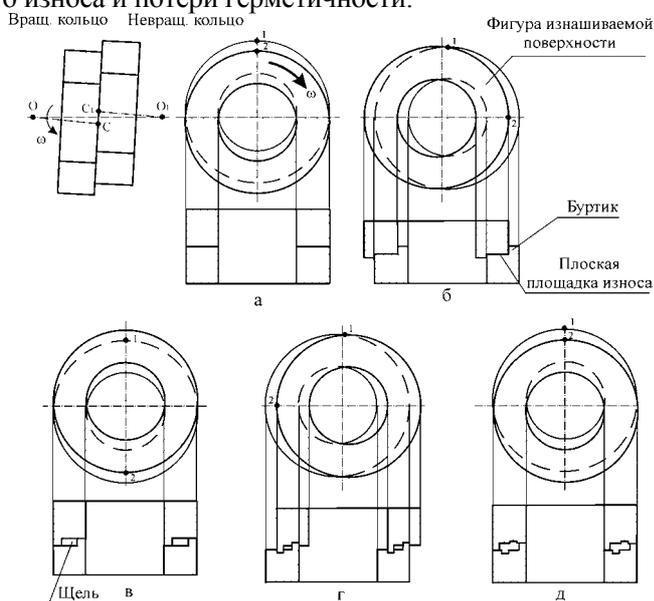


Рис.2 Схема ступенчатого изнашивания колец торцевого уплотнения

Исследовались торцевые уплотнения в количестве 18 ед. снятые с агрегатов в течение последних 2-х лет на 11 предприятиях различных отраслей промышленности. Из них 10 пар колец из материалов: сталь 40Х13 по графиту АГ-1500 и 8 пар – силицированный графит по силицированному графиту. По техническим условиям исходная шероховатость колец 0,04-0,25 мкм.

При визуальном изучении поверхностей трения под микроскопом МБС-2(×96) было установлено, что изнашивание пары колец сталь-графит носит специфический, ступенчатый характер (рис. 3). Количество уступов – от трех до пяти. Величина износа замерялась на микроскопе МИС-11. Высота ступеней колебалась от 3 до 7 мкм. Было также установлено, что у семи стальных колец из десяти на изношенной дорожке трения имеются очаги схватывания, а у графитовых колец на ответной части поверхности – значительный сдвиг и наплывы материала. На малоизношенных кольцевых участках поверхностей наблюдалось большое количество царапин шириной от 1 до 15 мкм., возникших, видимо, в результате “раскрытия” зазора и попадания в него твердых частиц рабочей жидкости.

У пар трения, изготовленных из силицированного графита (материала с очень высокой твердостью), износ был незначителен, в пределах - 1÷1,5 мкм. Так же как в предыдущем случае, наблюдалась ступенчатость поверхности, а на отдельных участках колец - риски и царапины.

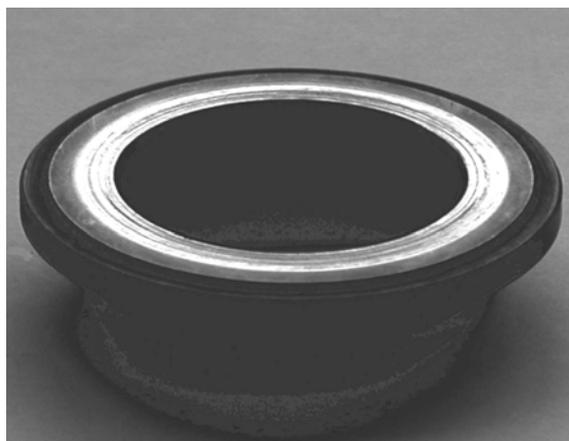


Рис.3 Поверхность трения кольца из стали 40X13, имеющего ступенчатый износ со следами схватывания.

Кроме того проводились эксперименты по определению работоспособности торцевых уплотнений на стенде. Было установлено, что величина износа колец однотипной конструкции в зависимости от биения колец колебалась от 3-5 мкм. до 25-30 мкм. (материал колец: сталь 40X13 по графиту АГ-1500). Анализ профилограмм изношенных поверхностей показал, что параметры шероховатости на некоторых участках соответствуют профилю поверхности, характерной для схватывания (максимальная высота микронеровностей 7-8 мкм. при шаге 20-25 мкм.). Необходимо отметить, что наибольший износ был зафиксирован у колец с самым большим перекосом. Всего испытывалось 63 пары колец. Продолжительность испытаний составляла 4 часа. На графике (рис.4) представлена зависимость утечки рабочей жидкости от величины угла перекоса рабочих колец (вода с добавлением 10% по объему микropорошка электрокорунда М28). Эксперименты показывают, что с увеличением угловой погрешности колец утечки возрастают, хотя трудно определить какой вклад в величину утечки вносят рассмотренные явления ступенчатого изнашивания, залипания и раскрытия колец и, наконец, собственно величина износа. Вероятнее всего, первой стадии образования ступенек соответствует момент начала утечек. С увеличением ступенек при радиальных перемещениях колец еще более возрастают удельные нагрузки в местах перехода. Пластические деформации приобретают глубокий характер, возникает схватывание, залипание поверхностей, резкое увеличение износа и утечек.

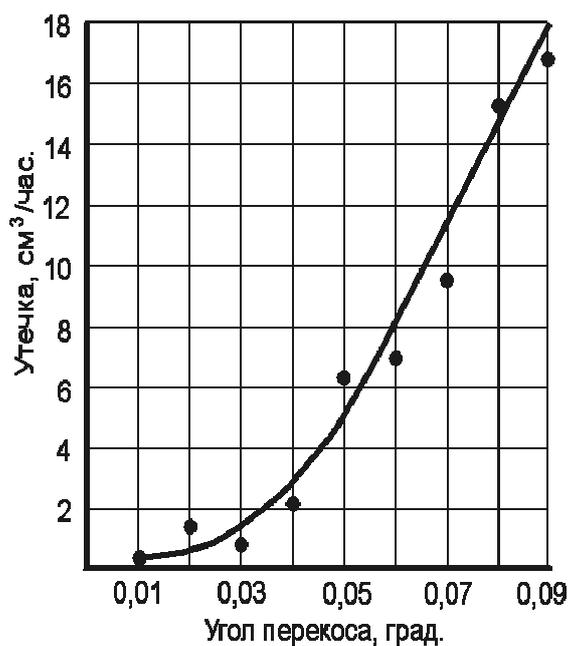


Рис.4 Зависимость величины утечек от угла перекоса

## **ВЫВОДЫ.**

1. Установлен специфический характер износа рабочих колец торцевых уплотнений, связанный с наличием угловой погрешности (перекоса) колец. Особенности изнашивания заключаются в образовании на трущихся поверхностях ступенек, которые с течением наработки при определенном взаимном положении колец приводят к образованию щелей в стыке колец.

2. Установлено также, что при работе торцевых уплотнений, имеющих большой перекос колец (от 0,06 до 0,09 мм.), резко увеличиваются утечки. На трущихся поверхностях возникают очаги схватывания с образованием концентрических дорожек трения значительной глубины, величина утечек доходит до максимума.

3. Очевидно, повысить надежность торцевого уплотнения можно путем уменьшения угловой погрешности. Однако это связано с увеличением точности изготовления деталей по всей размерной цепочке, включая основное изделие, что экономически не оправдано, а в ряде случаев практически неосуществимо из-за особенностей конструкции изделия. Выход может заключаться в применении при сборке регулировочных операций. Используя стохастический метод группирования случайных величин [1], можно с помощью простых регулировочных операций свести к минимуму угловую погрешность главного сопряжения. Затем, варьируя допусками деталей в размерной цепи торцевого уплотнения (в экономически целесообразных пределах), добиться получения максимальной вероятности заданной суммарной угловой погрешности.

## **ЛИТЕРАТУРА.**

1. А.В. Королев, А.М. Чистяков, А.А. Королев Новые прогрессивные технологии машиностроительного производства, Ч.1. - Технология стохастического программного комплектования прецизионных изделий с локализацией объемов комплектующих деталей, СГТУ, Саратов, 1997. – 116 с.