

УДК 620.178.162.1.05

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МАШИНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ

Н. КОРНЕЙЧУК

Государственный аграрный университет Молдовы

Abstract. The article presents the development of the experimental machine for the investigation of materials' and metal coatings' weariness, jamming, wear process, as well as the phenomena occurring at contact cyclic loading. The description of machine's design features is given. It was shown that its use provides a modeling work of the investigated pairs at standard, as well as at the accelerated tests. Features concerning the research of metal coatings at contact fatigue strength are given. Thus the relative error, at a limit prolongation of contact fatigue strength on the example of chromic and iron coverings, does not exceed 3, 5 %.

Key words: Contact, Limit, Machine roller, Metal weariness, Strength.

ВВЕДЕНИЕ

Критерием оценки возможности использования гальванических и других металлопокрытий для восстановления деталей, работающих при контактном циклическом нагружении, является величина их предела контактной усталостной выносливости. Из ряда работ (С. Пинегин, 1969; Т. Трубин, 1962; М. Хрущев, 1966) следует, что до настоящего времени нет единой методики и устройств для испытания на контактную усталость как пиromеталлургических материалов, так и различных типов металлопокрытий. Такое положение очевидно связано с тем, что в странах СНГ ещё не разработаны специальные установки и методики для этих исследований, которые можно было бы стандартизировать. Всё это в значительной степени препятствует созданию и разработке эффективных технологий восстановления деталей машин.

Изучение контактных явлений на натуральных деталях, по ряду причин является экономически нецелесообразным, а иногда и невыполнимым (Т. Трубин, 1962; М. Хрущев, 1966).

В связи с этим возникает необходимость в выборе типа и разработке более совершенной конструкции машины, отличающиеся высокой надёжностью, позволяющей с достаточной точностью определить величину предела выносливости при контактно-циклическом нагружении КЦН испытываемых материалов и покрытий.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Выбор принципиальной схемы, разработки и изготовление машины для определения предела выносливости металлопокрытий, металлов и явлений, происходящих в процессе КЦН осуществляли на основе системного анализа (Я. Дитрих, 1981).

Существующие конструкции машин и установки были разделены на группы по кинематическому признаку и по характеру силового нагружения исследуемых образцов.

Оценку их эффективности осуществляли по разработанным нами критериям: уровень надёжности, условий базирования и нагружения исследуемых пар; возможность моделирования условий их работы, наличие системы контроля температуры в зоне контактирования, величины коэффициента трения качения, частоты нагружения, начала образования питтинга, количества циклов нагружения, средств автоматического отключения в случае прогрессивного выкрашивания поверхности, наличие эффективной системы смазки, средств защиты и блокировки, возможности проведения ускоренных испытаний.

Величину максимальных нормальных напряжений в локальной зоне контакта определяли по

$$\text{формуле } \sigma_{\max} = 0,795 \sqrt{\frac{pE_1 \cdot E_2}{d_{\text{пр}} \cdot I_0 (\overset{\circ}{A}_1 + \overset{\circ}{A}_2)}} \quad (1)$$

где p – усилие, сжимающее контактирующие деталь, Н;

l_p – рабочая длина контакта, м;

E_1, E_2 – модули упругости первого рода сопрягаемых образца и контртела МПа.

$d_{\text{пр}}$ – приведенный диаметр контактирующих тел, м.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОСУЖДЕНИЕ

В соответствии с принятой методологией существующей машины и установки для исследований контактной прочности разделили в зависимости от характера взаимодействия между роликами на машины: с чистым качением; фрикционным качением; качением со скольжением. Каждая группа по-своему позволяет воспроизводить заданный закон движения конкретных пар. По кинематическому признаку в зависимости от числа одновременно действующих контактов на поверхности испытуемого образца машины делятся: одноконтактные, двух, трёхконтактные и другие.

1. Принцип работы одноконтактной машины заключается в качении одного ролика относительно другого, прижимающихся под действием заданной нагрузки (P). К этой группе можно отнести машины трения МИ-1М, СМЦ-2, СМЦ-3, а также машину А.Б. Богдановича. Основным недостатком этих машин является очень низкая производительность. Так, например, при испытании одного образца на машине МИпри базе $10 \cdot 10^6$ циклов нагружения продолжительность испытания машина должна непрерывно работать в течение 816 часов (М. Хрущев, 1966).

У двухконтактных роликовых машин производительность в 2 раза выше. При такой конструкции улучшаются условия нагружения испытуемого образца.

У трёхконтактных роликовых установок в отличие от предыдущих машин оси роликов расположены под углом 120° по отношению к испытуемому ролику. Несмотря на сложность изготовления машин такого типа, при качественном их исполнении они ряд преимуществ по сравнению с выше рассмотренными. Улучшаются условия смазки и нагружения испытуемого образца, представляется возможность учитывать величину коэффициента трения качения. Кроме этого их производительность несколько выше, чем у вышерассмотренных.

Иногда исследователями используются многосекционные машины (Т. Трубин, 1962) в одно-двух- и трёхконтактном исполнении. Эти машины позволяют значительно сократить время испытаний. Опыт их эксплуатации позволил выявить ряд крупных недостатков, свидетельствующих, в большинстве случаев, о нецелесообразности их применения.

Таким образом, из рассмотренных, наиболее целесообразно использовать трёхконтактную схему нагружения испытуемого образца. В работе (М. Хрущев, 1966) указывается, что если верхний ролик будет ведущий, а исследуемый – ведомый, а нижние нажимными, то такие условия будут препятствовать развитию питтинга. Имеющиеся в данном случае чередования процессов

растяжения сжатия на рабочей поверхности ролика, как показали наши исследования, наоборот способствуют процессу выкрашивания. При этом, если ролик, будет приводить в движение контртела за счёт фрикционной связи, то условия образования и развития питтинга при этом не улучшаются, а напротив ухудшаются.

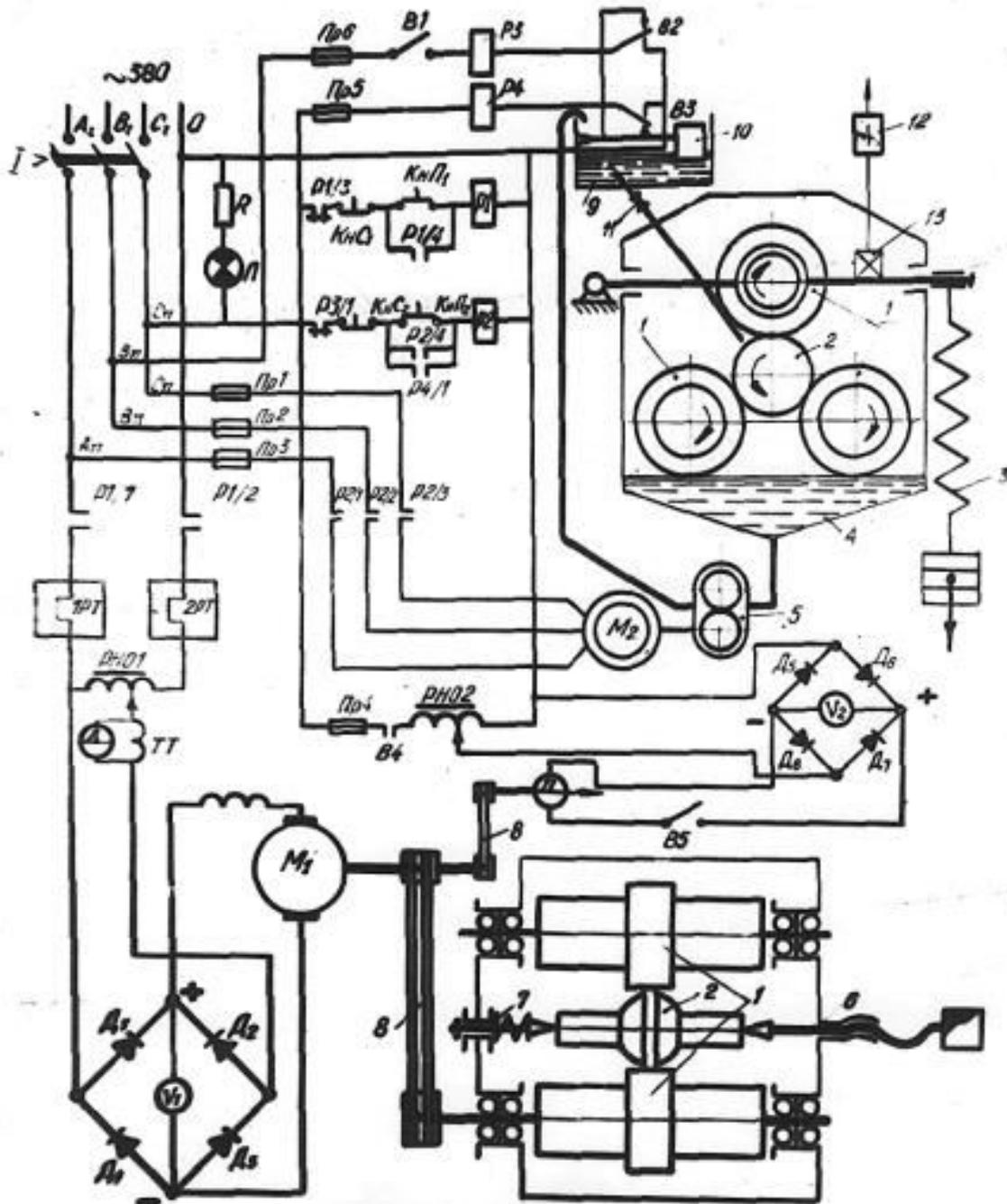


Рис.1. Принципиальная схема установки для исследования контактной прочности материалов:

1 – контртело; 2 – испытуемый образец; 3 – нагружающее устройство; 4 – картер; 5 – масляный насос; 6-7 – плавающие центры; 8 – клиноременная передача; 9 – ёмкость с маслом; 10 – поплавок; 11 – регулировочный вентиль; 12 – усилитель; 13 – пьезодатчик; Пр1...Пр6 – предохранители; P1...P4 – реле; РНО1 и РНО2 однофазные регуляторы напряжения; ТТ – трансформатор тока; М1 и М2 – электродвигатели; Д1...Д8 – полупроводниковые элементы; В1 и В5 – выключатели; В2, В3 и В4 – микровыключатели; П – электроимпульсный счётчик; R – резистор; Д – сигнальная лампа; 1 – 2 – вольтметры; А – амперметр; 1РТ и 2РТ – тепловые реле.

Отличительной особенностью разработанной машины, по сравнению с известными такого же типа (Н. Коньков, 1968) является то, что испытуемый образец 2 (рис.1). располагается в плавающих самоподжимных вращающихся центрах 6,7. Такое конструктивное решение позволяет исключить перекокс и зависание ролика 2 по отношению к нажимным роликам 1, что имеет место в известных установках данного типа, и тем самым улучшить условия его нагружения. Нажимные ролики 1 диаметром 90 мм и шириной 20 мм изготовлены из низкоотпущенной стали ШХ15 с твёрдостью рабочей поверхности HRC 63-65 и шероховатостью Ra=0,16 мкм. Они выполнены в виде втулок с внутренней конической поверхностью и при помощи специальных гаек жестко закрепляются на валу. Привод контртела машин осуществляется от электродвигателя постоянного тока М1 через клиноременную передачу 8 передаётся ролику 1, а остальные – приводятся в движение за счёт сил трения. Наличие двухступенчатого редуктора позволяет регламентировать скорость вращения нижнего ролика 1 и тем самым изменяет условия испытания образца 2. Последовательно включенным в цепь питания М1 регулятором напряжения РНТ можно регулировать частоту вращения испытуемого образца от 1000 до 6350 мин⁻¹. При этом производительность машины составляет $0,18 * 10^6 - 1,14 * 10^6$ цикл/ч.

Число циклов нагружения регистрируется электроимпульсным счётчиком П. Величина действующей нагрузки в зоне контакта регулируется изменением груза и длины плеча рычага нагружающего устройства 3 (рис.1), которое шарнирно соединено с корпусом машины. Для измерения величины момента трения контактируемой пары в первичную цепь питания электродвигателя последовательно включён самопишущий амперметр НЗ53.

В зону контакта испытуемого и нажимных роликов смазка поступает из маслонапорной ёмкости 9 самотёком и собирается в поддоне 4, откуда шестеренчатым насосом 5 перекачивается по трубопроводу 18 снова в ёмкость 9. Уровень смазки автоматически поддерживается блоком управления 19 (рис.1), а её расход регулируется вентилем 11. Кроме этого в системе смазки предусмотрена механическая и магнитная очистка масла. В машине предусмотрено также автоматическое устройство для её выключения в момент прогрессивного развития питтинга или других явлений, вызывающих вибрации верхнего нагружающего ролика. При этом механические импульсы преобразуются электрические пьезодатчиком 13, которые в свою очередь усиливаются в электронном усилителе 12 и при помощи реле размыкают цепь магнитного пускателя привода и тем самым отключается питание электродвигателя М1. Использование самопишущего амперметра для регистрации величины момента трения контактируемых тел позволяет с большей точностью определить начало прогрессивного развития питтинга. Цепи питания и управления электросилового части машины имеет релейную и тепловую защиту.

Таким образом, на разработанной нами трёхконтактной четырёхроликной машине (рис.1) можно: проводить комплексные испытания покрытых деталей на контактную усталостную прочность и изнашивание, исследовать процесс трения в контакте и влияние свойств масел в условиях контактирования в зависимости от условий нагружения и испытания с учётом условий работы в исследуемых пар, а также более точно оценить начало прогрессивного выкрашивания рабочей поверхности, что в значительной степени способствует повышению качества проводимых исследований. Условия испытания образцов, выбирали такими, чтобы они максимально по возможности приближались к реальным условиям деталей, подлежащих восстановлению. В этой связи, при выборе размеров испытуемого образца использовали критерий геометрического подобия (Г.Пузанов и др., 1960), который рассчитывался по следующей зависимости $-l*d_{np} = const, (2)$

где: $-l$ - длина контакта, мм; d_{np} – приведенный диаметр, мм.

Поэтому, для исследования контактной усталостной прочности гальванопокрытий на экспериментальной установке нами была разработана специальная конструкция испытуемого образца 2 (рис.1), которая позволяет исключить явление краевого эффекта как при электролизе так и при нагружении и тем самым повысить точность эксперимента.

В основу разработки методики для определения предела выносливости при КЦН деталей восстановленных износостойкими гальванопокрытиями легли положения приведенные в работах Т. Трубина (1962), М. Хрущева (1966), С. Пинегина (1969, 1972). За базу испытаний принимали $N = 5 \times 10^6$ циклов нагружения. Предел контактной выносливости определяли как величину

напряжения отличающую границу двух зон: зону прогрессирующего усталостного выкрашивания и зону отсутствия прогрессирующего выкрашивания (С. Пинегин, 1969), и рассчитывали по формуле 1. За начало зоны усталости принималось образование на поверхности образцов прогрессирующих микровыкрашиваний площадью не менее $0,5 \text{ мм}^2$. Осмотр состояния поверхности образцов проводился через каждые 1×10^6 циклов нагружения, при этом образцы с машины не снимались, за исключением оговариваемых случаев.

Выявление зоны разрушения производили с помощью линзы X15 металлографического микроскопа МИМ-8М и электронного микроскопа УЭМВ-100А. Нагружение и снятие нагрузки на испытуемый образец производили с помощью только при вращающихся роликах. Число образцов на серию принимали от шести до восьми, в зависимости от точности получаемых результатов.

Перед началом исследований машина «прогревается», т.е. вместо испытуемого образца устанавливается ролик диаметром 22 мм и шириной 20 мм изготовленный из стали 20Х НС 58-62 и при нагрузке $y_k = 780 - 880 \text{ МН/м}^2$ обкатывался до тех пор пока температура поверхности контртел не составляла $318 - 320 \text{ К}$. Доведение расчётной нагрузки на испытуемый образец производили после его приработки. Процесс приработки осуществляли при $y_{\max} = 780 - 880 \text{ МН/м}^2$ и суммарной скорости качения $V_y = 4 \text{ в/с}$. Процесс протекания приработки оценивали по стабилизации величины момента трения качения.

Смену контртел на установке проводили чаще всего после испытания образцов одной серии. Результаты опытных данных оформляли в виде таблиц и графиков. Построение усталостных кривых производили в полулогарифмической системе координат.

Исследование контактной усталости железных и хромированных образцов показали высокую воспроизводимость полученных результатов. При этом, относительная погрешность не превышала $3,5\%$.

ВЫВОДЫ

1. Обоснована целесообразность разработки трёхконтактной четырёхроликовой машины с высоким уровнем надёжности на основе системного анализа и критериальной оценки.
2. Разработанная конструкция машины, обеспечивает моделирование процесса в широком диапазоне условий работы исследуемых пар, а также проведение ускоренных, ужесточенных испытаний при контактно-циклическом нагружении.
3. Предложена методика определения предела усталости испытуемых покрытий и материалов при КЦН с относительной погрешностью $3,5\%$.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Пинегин, С.В. Контактная прочность и сопротивление качению. М., 1969, 285 с.
2. Трубин, Т.К. Контактная усталость материалов для зубчатых колес. М.: Машгиз, 1962, 385 с.
3. Хрущев, М.М. Лабораторные методы испытания на изнашивание материалов зубчатых колес. М.: Машгиз, 1966, 180 с.
4. Коньков, Н.Д. Исследование контактной прочности цементированных электролитических покрытий. Автореферат диссертации на соискание учёной степени канд. техн. наук. Новокузнецк, 1968, 22 с.
5. Дитрих, Я. Проектирование и консультирование. Системный подход. Пер. с польского – М.: Мир, 1981, 486 с.
6. Пинегин, С.В., Шевелёв, И.А., Гудченко, В.М. и др. Влияние внешних факторов на контактную прочность при качении. М.: Наука, 1972, 145 с.
7. Пузанов, Г.А., Нелидов, М.А. Масштабный фактор и его влияние на контактную усталость роликов. / Повышение износостойкости и срока службы машины. т.1. АН УССР, Киев. 1960, с 145-151.

Data prezentării articolului – **02.11.2010**