

УДК 621.787.6.004

## Критерии оценки контактно-усталостного разрушения деталей машин

Баринов С.В.

В статье поднимается вопрос критериев оценки контактно-усталостного разрушения деталей машин. Кроме традиционных критериев – контактная прочность и контактная выносливость, для учета дополнительных параметров, предлагается ввести дополнительные показатели: сопротивление контактному выкрашиванию  $\Delta I$ , относительная площадь выкрашиваний  $\Delta S$ , относительное число выкрашиваний  $\Delta n$ , максимальная относительная площадь выкрашиваний  $\Delta S_{\max}$ , минимальная относительная площадь выкрашиваний  $\Delta S_{\min}$ . Вводимые показатели позволяют более полно отобразить картину изнашивания при действии контактных циклических нагрузок, оценить долговечность образцов после упрочнения, сравнить размер и количество выкрашиваний на упрочненной и неупрочненной поверхности. Предлагаемые показатели могут быть рассчитаны как в ручном режиме, используя, например, цифровое изображение выкрашиваний и программу Компас, так и в полуавтоматическом, основанном на базе прикладных ЭВМ программ для металлографического анализа.

*Ключевые слова:* контактная прочность, контактная выносливость, сопротивление контактному выкрашиванию, испытания, выкрашивание, разрушение.

### Введение

В технологии машиностроения для оценки ресурса деталей машин работающих в условиях контактной усталости обычно используют критерии: контактная выносливость и контактная прочность.

Контактная прочность - это прочность рабочих поверхностей деталей, воспринимающих на относительно небольших площадях концентрированные контактные нагрузки в условиях статического или динамического нагружения. Контактная выносливость - это способность рабочих поверхностей контактирующих деталей противостоять контактной усталости. Количественной оценкой контактной выносливости является величина контактного давления при заданном числе циклов не приводящем к выкрашиванию.

### Критерии оценки долговечность образцов после упрочнения

Часто долговечность деталей машин, выход из строя которых связан с действием переменных контактных напряжений, т.е. усталостная долговечность, оценивается по числу циклов нагружения, при которых на поверх-

ностях деталей появляются выкрашивания.

Важным при контроле указанных параметров является учет дополнительных критериев, которые позволяют более полно отобразить картину изнашивания при действии контактных циклических нагрузок, и соответственно назначать необходимые характеристики поверхностного слоя, требуемые для повышения долговечности деталей. Поэтому, за основные показатели, позволяющие оценить долговечность образцов после упрочнения и сравнить размер и количество выкрашиваний упрочненной и не упрочненной области предлагается принять: сопротивление контактному выкрашиванию  $\Delta I$ , относительную площадь выкрашиваний  $\Delta S$ , относительное число выкрашиваний  $\Delta n$ , максимальную относительную площадь выкрашиваний  $\Delta S_{\max}$ , минимальную относительную площадь выкрашиваний  $\Delta S_{\min}$ .

*Относительная площадь выкрашиваний  $\Delta S$ :*

$$\Delta S = \frac{\sum S_0}{\sum S} \cdot \frac{n}{n_0},$$

где  $\sum S$  – суммарная площадь выкрашиваний на исследуемом участке, мм<sup>2</sup>;  $n$  – количество выкрашиваний на исследуемом участке,

шт; (индекс «0» означает, что параметры характеризуют неупрочненную поверхность).

Для количественного сравнения значений максимальных площадей  $S_{max}$  возникших выкрашиваний на неупрочненной и упрочненной поверхности, и минимальных  $S_{min}$  предлагаются показатели  $\Delta S_{max}$  - *максимальная относительная площадь выкрашиваний* и  $\Delta S_{min}$  - *минимальная относительная площадь выкрашиваний*.

Максимальная относительная площадь выкрашиваний  $\Delta S_{max}$  является отношением площадей наибольших по размерам выкрашиваний на неупрочненной поверхности к упрочненной.

$$\Delta S_{max} = \frac{S_{0max}}{S_{max}},$$

где  $S_{max}$  – площадь максимального выкрашивания, измеренная на исследуемом участке, мм<sup>2</sup>.

Минимальная относительная площадь выкрашиваний  $\Delta S_{min}$  является отношением площадей наименьших по размерам выкрашиваний на неупрочненной поверхности к упрочненной.

$$\Delta S_{min} = \frac{S_{0min}}{S_{min}},$$

где  $S_{min}$  – площадь наименьшего выкрашивания, измеренная на исследуемом участке, мм<sup>2</sup>.

*Относительное число выкрашиваний  $\Delta n$*

$$\Delta n = \frac{S_d}{S_{d0}} \cdot \frac{n_0}{n},$$

где  $S_d$  – площадь дорожки катания шаров на исследуемом участке, мм<sup>2</sup>.

За одну из основных характеристик, позволяющих оценить долговечность образцов после упрочнения, было предложено использовать *сопротивление контактному выкрашиванию  $\Delta I$* , позволяющее качественно и количественно сравнить величину выкрашиваний на упрочненной поверхности относительно неупрочненной.

$$\Delta I = \frac{S_d}{S_{d0}} \cdot \frac{\Sigma S_0}{\Sigma S}$$

Сопротивление контактному выкрашиванию  $\Delta I$  является комплексным параметром, учитывающим изменение в процессе испытаний размеров следов дорожек катания шаров, и площадь возникших на них выкрашиваний, что позволяет оценивать долговечность деталей машин, работающих в условиях контактной усталости.

Все предлагаемые показатели были использованы в работе [1,2] для сравнительной оценки долговечности плоских образцов подвергнутых контактно-усталостной нагрузке посредством обкатывания шарами [3,4]. Для вычисления параметров исследуемые области фотографировались через объектив микроскопа БИМ-1 при увеличении 1×50 с разрешением 7 Мпк, с помощью микроскопа также проводилось измерение линейных размеров изображения с помощью встроенных микрометров с точностью 0,001 мм. Затем в программе Компас V8 цифровые изображения, согласно их измеренным линейным размерам, масштабировались 1:1 (рис. 1). Далее на полученных изображениях обводились границы исследуемой области и выкрашивания поверхности (рис. 2). По обведенным контурам в программе Компас V8 определялись размеры, количество и площади выкрашиваний.

Расчет площадей выкрашиваний  $S$  (мм<sup>2</sup>), площадей дорожки качения  $S_{дор}$  (мм<sup>2</sup>), количество выкрашиваний  $n$  (шт.), максимальные  $S_{max}$  (мм<sup>2</sup>) и минимальные  $S_{min}$  (мм<sup>2</sup>) площади



Рис.1. Исследуемая поверхность образца при увеличении 1×50.

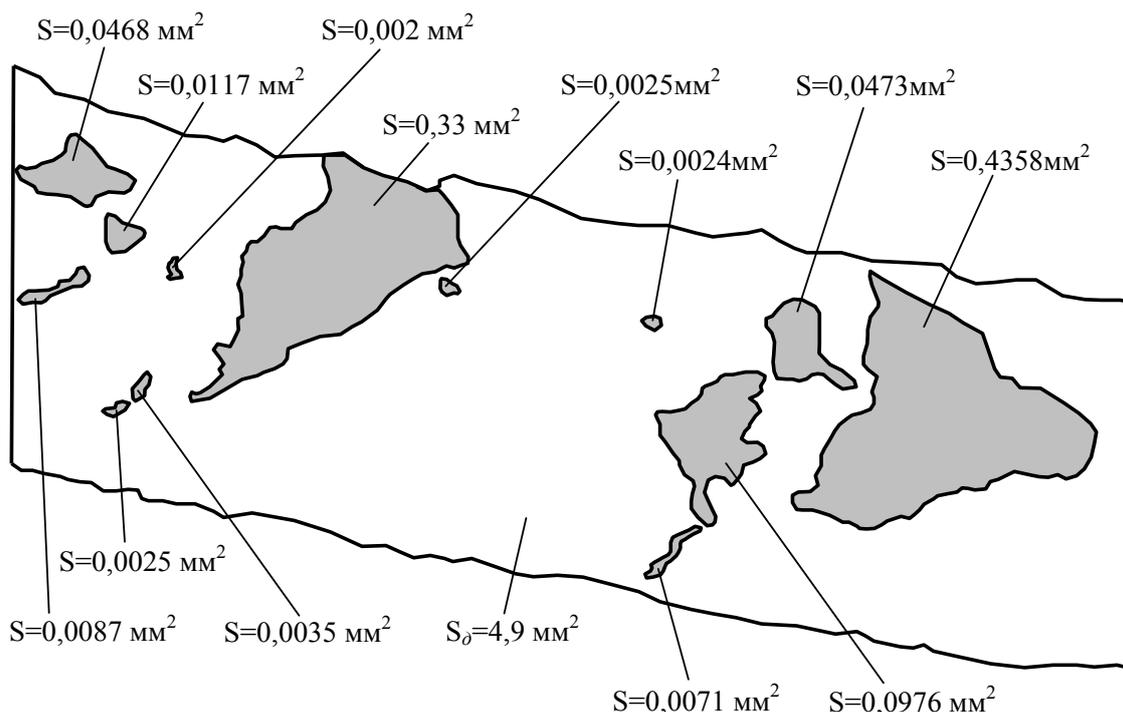


Рис. 2. Контуры выкрашиваний для оценки их площади.

выкрашиваний может быть выполнен как в ручном режиме, так и в полуавтоматическом, используя для этих целей функции прикладных ЭВМ программ для металлографического анализа.

#### Выводы

- Предложены параметры, позволяющие качественно и количественно сравнить величины выкрашиваний на упрочненной поверхности относительно неупрочненной.

- Экспериментально подтверждена возможность использования предлагаемых параметров при проведении испытаний деталей машин на долговечность, работающих в условиях контактно - усталостного нагружения. Установлено повышение сопротивления контактному выкрашиванию в 3...6 раз, при этом в 1,5...2,5 раза снижено количество выкрашиваний и в 2...3 раза уменьшился их размер [2].

#### Литература

1. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Баринов С.В., Силантьев С.А. Повышение контактной выносливости деталей машин гетерогенным деформационным упрочнением статико-импульсной обработкой // Упрочняющие технологии и покрытия, 2008, №7(43). - С. 9-15.
2. Соловьев Д.Л., Киричек А.В., Баринов С.В. Повышение долговечности деталей машин созданием гетерогенно наклепанной структуры // Тяжелое машиностроение, № 7, 2010. - С. 4-7.
3. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Баринов С.В., Тарасов Д.Е. Экспериментальный комплекс для исследований контактно-усталостного изнашивания деталей машин // Известия ОрелГТУ, серия «Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии», 2009, № 3-2/275 (561). – С. 7-13.
4. Баринов С.В., Силантьев С.А., Соловьев Д.Л., Медведев М.Н. Оборудование для исследований материала на сопротивление контактному выкрашиванию // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, 2010, №7. – С. 87-88.

---

**References**

1. Kirichek A.V., Soloviev D.L., Barinov S.V., Silantyev S.A. Increased contact fatigue machine parts heterogeneous strain hardened static and pulse processing // Strengthening technology and coatings, 2008, № 7(43). – P. 9-15.
2. Solovyov D.L., Kirichek A.V., Barinov S.V. Increased durability of machine parts creating heterogeneous case hardened structure // Heavy Engineering, 2010, № 7. – P. 4-7.
3. Kirichek A.V., Soloviev D.L., Barinov S.V., Tarasov D.E. Experimental setup for investigation of contact-fatigue wear of machine parts // News OrelGTU. Series «Fundamental and applied problems of Engineering and Technology», 2009, № 3-2/275 (561). – P. 7-13.
4. Barinov S.V., Silantyev S.A., Solovyov D.L., Medvedev M.N. Equipment for research material to resist chipping contact // Engineering industry and life safety, 2010, № 7. – P. 87-88.

**Статья поступила в редакцию 25 октября 2012 г.**

---

The article raises the question of evaluation criteria of contact-fatigue failure of machine parts. In addition to the traditional criteria - contact strength and contact fatigue, to include additional parameters, it is proposed to introduce additional parameters: contact resistance chipping  $\Delta I$ , the relative area of chipping  $\Delta S$ , the relative number of chipping  $\Delta n$ , the maximum relative chipping area  $\Delta S_{max}$ , minimum relative chipping area  $\Delta S_{min}$ . The input parameters allow better display picture wearing the action of cyclic loads of contact, to assess durability of the samples after hardening, compare the size and number of chipping on hardened and not reinforced surface. The proposed indicators can be calculated as in manual mode, using, for example, a digital image chipping and Compass program, and in the semi-based application on the basis of computer programs for metallographic analysis.

*Keywords:* contact resistance, contact fatigue, chipping resistance contact, testing, chipping, fracture.

---

*Баринов Сергей Владимирович* – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Автоматизированное проектирование машин и технологических процессов» Муромского института (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»