

УДК 621.9.047

DOI:10.30987/2223-4608-2021-9-8-10

**А.А. Болдырев**, к.т.н., **А.И. Болдырев**, д.т.н.,

**В.В. Григораш**, к.т.н., **В.Н. Сухоруков**, к.т.н.

(Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Московский пр-т, 14)

E-mail: alexboldyrev@yandex.ru

## **Экспериментальные исследования влияния электрохимической размерной обработки на контактную усталость валков прокатных машин**

*Представлены результаты исследования влияния состояния поверхностного слоя прокатных валков на их эксплуатационные характеристики, приведены результаты сравнительных испытаний на контактную усталость образцов, обработанных шлифованием и электрохимической размерной обработкой, рассмотрена последовательность подготовки образцов для экспериментальных исследований, сформулированы рекомендации по выбору метода окончательной обработки.*

**Ключевые слова:** прокатные валки; электрохимическая размерная обработка; контактная усталость.

**A.A. Boldyrev**, Can. Sc. Tech., **A.I. Boldyrev**, Dr. Sc. Tech.,

**V.V. Grigorash**, Can. Sc. Tech., **V.N. Suhorukov**, Can. Sc. Tech.

(Voronezh State Technical University, 14, Moskovskiy Prospect, Voronezh)

## **Experimental studies of the effect of electrochemical sizing on the contact fatigue of forming rolls**

*The study results of the influence of the surface layer of forming rolls on their operational characteristics are presented, the results of comparative tests for contact fatigue of samples machined by grinding and electrochemical sizing are presented, the sequence of sample preparation for experimental studies is considered, recommendations on the choice of final machining method are formulated.*

**Keywords:** forming rolls; electrochemical sizing; contact fatigue.

Как известно, эксплуатационные свойства рабочих поверхностей высоконагруженных деталей машин в значительной степени зависят от способа их обработки, особенно на чистовых и отделочных операциях. Наиболее распространенным видом окончательной обработки прокатных валков является шлифование. Характерными особенностями процесса резания шлифованием являются – большая удельная работа и высокий локальный нагрев в зоне резания, приводящие к появлению в поверхностном слое обработанной поверхно-

сти рисок, надрывов, остаточных напряжений, наклепа, структурных изменений в металле [1, 2]. Все указанные дефекты ведут к снижению контактной усталости валков. Они могут быть устранены электрохимической размерной обработкой (ЭХРО) при анодном растворении на глубину, превышающую толщину дефектного поверхностного слоя [3, 4].

В данной работе предпринята попытка оценки результатов сравнительных испытаний на контактную усталость образцов, рабочая поверхность которых получалась шлифовани-

ем с последующей электрохимической размерной обработкой.

Образцы, геометрические параметры которых приведены на рис. 1, изготавливались из легированной стали 9Х2МФ, применяемой для рабочих валков машин холодной прокатки металлов при особо тяжелых условиях эксплуатации.

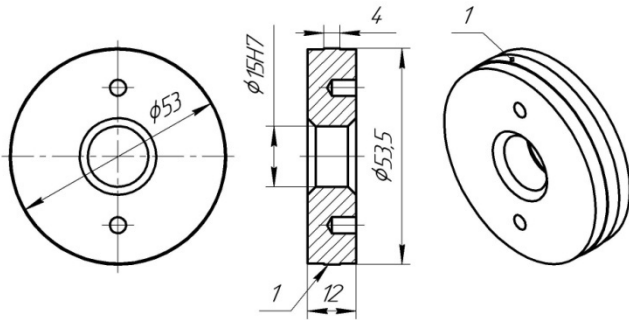


Рис. 1. Образец для испытания на контактную усталость:

1 – рабочая поверхность

Химический состав стали соответствовал ГОСТ 3541-57 (0,9 % С; 1,9 % Cr; 0,4 % Si; 0,5 % Mn; 0,2 % V; 0,3 % Mo). Все образцы изготавливались из заготовок одной плавки и проходили цикл термической обработки по единому типовому режиму: закалка (нагрев до 800 °С; выдержка 1,5 часа; охлаждение в масле); отпуск (нагрев до 180 °С; выдержка 3 часа; охлаждение на воздухе). В результате такой термической обработки образцы имели мартенситную структуру при наличии включений мелких карбидов, твердость 61...62 HRC<sub>Э</sub>.

Образцы шлифовались на круглошлифовальном станке модели 3А164 кругами ЭБ 40СМ1К6 по типовой технологии обработки валков из данной стали. Обработка осуществлялась при следующих условиях и режимах шлифования: окружная скорость круга – 32 м/с; окружная скорость образца – 20,7 м/с; продольная подача – 1,4 м/мин; глубина шлифования – 0,015 мм/ход. Окончательная обработка рабочих поверхностей образцов осуществлялась при снятии припуска 0,15 мм с минимальной поперечной подачей 0,005 мм/ход. Шлифование образцов заканчивалось после прекращения искрения в зоне обработки. Высота неровностей после шлифования находилась в пределах  $Ra = 0,3...0,2$  мкм, что соответствовало 9-му классу шероховатости.

Электрохимическая размерная обработка образцов проводилась на станке СЭХО-901 в специальной камере. Образец устанавливался на токоподводящий вал камеры таким обра-

зом, чтобы поток электролита проходил только через межэлектродный зазор с обеих его сторон. Устанавливались следующие условия и режимы электрохимической размерной обработки предварительно шлифованной поверхности образцов [5]: плотность тока – 40 А/см<sup>2</sup>; напряжение на электродах – 22 В; средний межэлектродный зазор – 0,2 мм; частота вращения образцов – 200 об/мин; электролит – 15 % раствор хлористого натрия; температура электролита – 20...25 °С; давление подачи электролита в рабочую камеру – 0,40...4,5 МПа. В качестве источника постоянного тока использовался сварочный преобразователь типа ПСО 300 М. В процессе электрохимической размерной обработки снимался слой металла толщиной 0,2 мм на сторону за время – 0,5 мин. Шероховатость обработанной поверхности также соответствовала 9-му классу шероховатости при высоте микронеровностей  $Ra = 0,25...0,18$  мкм [6].

Испытания образцов на контактную усталость проводились на двухконтактной роликовой машине мощностью 8 кВт, имеющей нажимные ролики (верхний и нижний) из быстрорежущей термически обработанной стали Р 18, по схеме, приведенной на рис. 2.

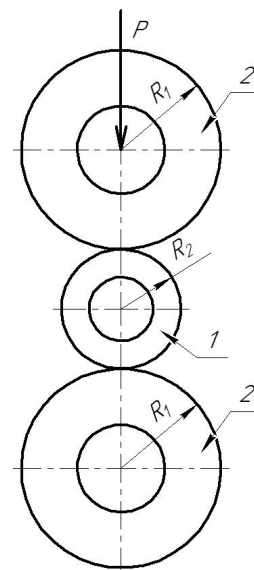


Рис. 2. Схема испытаний образцов на контактную усталость:

1 – образец; 2 – нажимные ролики

Нагрузка  $P$ , действующая на верхний нажимной ролик радиусом  $R_1$ , передавалась образцу радиусом  $R_2$  и далее нижнему ролику. Таким образом, за один оборот каждая точка поверхности образца подвергалась двум нагружениям. Испытания проводились в условиях качения с относительным скольжением между поверхностью образца и нажимных ро-

ликов при окружной скорости вращения образца в 1,3 раза меньшей окружной скорости вращения прижимного ролика, частота вращения которого составляла 1000 об/мин. Критерием окончания испытаний являлось начало прогрессирующего выкрашивания исследуемой поверхности образца. Испытания проводились на базе  $10^6$  циклов.

Контактные напряжения определялись в зависимости от величины нагрузки, действующей на прижимной ролик, по формуле Герца-Беляева.

Результаты испытаний представлены на рис. 3. Анализ диаграммы контактных напряжений образцов показал, что более высокое сопротивление усталостным разрушениям наблюдается у образцов после электрохимической размерной обработки. Число циклов, при котором наступает предел контактной выносливости материала у таких образцов, оказывается почти вдвое большим, чем у образцов после шлифования.

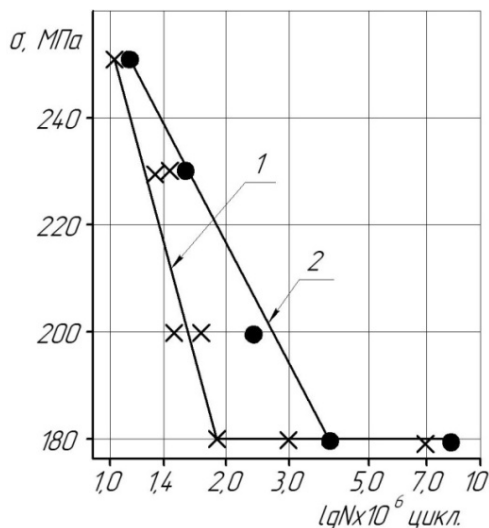


Рис. 3. Диаграмма контактных напряжений образцов:

1 – после шлифования; 2 – после электрохимической размерной обработки

При сравнении профилограмм, снятых с поверхности образцов до и после испытаний при различных контактных напряжениях, обнаруживается более существенные изменения в микрогеометрии шлифованной поверхности. Например, если у шлифованных образцов после испытаний при контактных напряжениях, равных 180 МПа, шероховатость поверхности ухудшилась по сравнению с исходной в 2 раза, то у обработанных образцов электрохимическим методом не более, чем в 1,5 раза, несмотря на вдвое большее число циклов нагружений.

Повышение контактной усталости поверхности после электрохимической размерной

обработки можно объяснить более совершенной структурой поверхностного слоя за счет удаления дефектов, образованных в процессе шлифования.

Оценка достигнутых результатов сравнительных испытаний на контактную усталость образцов показала высокое совпадение с результатами подобных исследований для иных высоконагруженных изделий [5].

Полученные результаты исследований раскрывают возможность существенного повышения эксплуатационных характеристик прокатных валков и других деталей, работающих с контактными нагрузками при качении с проскальзыванием.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Справочник** технолога / А.Г. Суслов, В.Ф. Безязычный, Б.М. Базров и др. / под ред. А.Г. Суслова. – М.: Инновационное машиностроение, 2019. – 800 с.
2. **Современные технологии** формообразования / В.А. Лебедев, А.И. Болдырев, М.А. Тамаркин и др. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 320 с.
3. **Болдырев, А.И.** Инженерия поверхностного слоя изделий при электрохимической и комбинированной обработке // Вестник Донского государственного технического университета. – 2009. – Т. 9. – №4 (43). – С. 626-636.
4. **Болдырев, А.И.** Экспериментальные исследования состояния поверхностного слоя после электрохимико-механической обработки // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – Т. 6. – №10. – С. 15-20.
5. **Смоленцев, В.П.** Технология электрохимической обработки внутренних поверхностей. – М.: Машиностроение, 1976. – 176 с.
6. **Болдырев, А.И.** Влияние режимных параметров процесса анодного растворения на обеспечение качества электрохимического формообразования // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2017. – Т. 13. – №4. – С. 98-104.

### REFERENCES

1. **Industrial Engineer's Reference Book.** / A.G. Suslov, V.F. Bezyazichny, B.M. Bazrov et al. / under the editorship of A.G. Suslov. – M.: – Innovation Mechanical Engineering. – 2019. – 800 p.
2. **Modern Technologies of Shaping.** / V.A. Lebedev, A.I. Boldyrev, M.A. Tamarkin et al. – M.: INFRA – M. – 2019. – 320 p.
3. **Boldyrev, A.I.** Surface Layer Engineering of Products When Electrochemical Sizing and Combined Machining // Bulletin Don State Technical University. – 2009. – vol. 9. – no. 4 (43). – PP. 626-636.
4. **Boldyrev, A.I.** Experimental Studies of the Surface Layer State after Electrochemical and Mechanical Machining. Bulletin of Voronezh State Technical University. – 2010. – vol. 6. – no. 10. – PP. 15-20.
5. **Smolentsev, V.P.** Technology of Electrochemical Machining of Internal Surfaces. – M.: Mechanical Engineering. – 1976. – 176 p.
6. **Boldyrev, A.I.** Influence of the Operating Parameters of the Anodic Dissolution on the Assurance of Electrochemical Shaping Quality // Bulletin of Voronezh State Technical University. – 2017. – vol. 13. – no. 4. – PP. 98-104.

Рецензент д.т.н.  
Владислав Павлович Смоленцев