



Комбинирование алмазно-электрохимического хонингования и гальванического хромирования



Александр ПОПОВ
Alexander P. POPOV

Данила СВИРИДЕНКО
Danila S. SVIRIDENKO



Юрий КОМАРОВ
Yuri Yu. KOMAROV

Попов Александр Петрович – кандидат технических наук, доцент Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Свириденко Данила Сергеевич – кандидат технических наук, доцент ВНИИ авиационных материалов, Москва, Россия.

Комаров Юрий Юрьевич – старший преподаватель Российского университета транспорта (МИИТ), Москва, Россия.

Combination of Diamond-Electrochemical Honing and Galvanic Chrome-Plating

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 90)

Наибольшее применение электрохимические методы получили в технологиях размерной обработки поверхностей деталей машин, основанных на сложных процессах растворения металла. Стендовые трибологические исследования комбинированного метода алмазно-электрохимического хонингования и гальванического хромирования, создающих высокопрочные поверхностные слои, показали меру интенсивности изнашивания, причины и характер появления дефектов покрытия. Для выполнения условий испытаний были применены соответствующие оборудование, технологическая оснастка, инструменты, обеспечен класс среды электролитов. По результатам испытаний подтверждена возможность комбинирования двух способов электрохимической обработки поверхности металлов с высокой трибологической нагрузкой.

Ключевые слова: детали машин, трибология, комбинированная обработка, электрохимическая обработка, алмазно-электрохимическое хонингование, гальваническое хромирование, износ.

Для решения технологических задач по созданию новой техники на производстве сегодня стали всё чаще использовать и развивать методы обработки материалов, основанные на немеханическом воздействии инструмента на заготовку. В большинстве подобных случаев в ходу прежде всего электрохимические методы обработки (ЭХО) [1–3].

ЭХО преобладает в технологиях размерной обработки (формообразования) рабочих поверхностей деталей машин с применением процессов растворения металла, но управление ими по сравнению с процессами обработки резанием представляет собой сложную в технологическом отношении задачу. Причём ЭХО при производстве машин позволяет повысить точность обработки деталей, а тем самым и поднять надёжность изделия в целом [4, 5].

Примером применения такой технологии является комбинированный метод алмазно-электрохимического хонингования (АЭХХ) и гальванического хромирования, апробация которого осуществлялась

для сталей 30ХГСА, 30ХН2МФА, 35ХН2МФАШ, 23ХГС2МФАЛУ, Ст. 50А [6, 7].

Диапазоны изменения шероховатости и макрогеометрии составляли соответственно 0,2–0,3 мкм и 0,01–0,02 мм. Эти результаты формируются в условиях оптимальных значений плотности тока, продолжительности операций, удельных давлений разжима брусков, разновидностей инструментов [8]. Изменение твёрдости поверхностного слоя и эпюры внутренних остаточных напряжений подтверждает режимные диапазоны выбранных в ходе макро- и микрогеометрических исследований.

Получены удовлетворяющие диапазоны прироста твёрдости: 16,6–17,9•10⁻³ МПа. Характер распределения внутренних остаточных напряжений в поверхностном слое (0,1–0,4 мм) определяется разновидностью применяемого абразивного инструмента. Наибольшие значения таких напряжений (-50...-400 МПа) зафиксированы при использовании брусков типа 15АМ50Ст1Б. Выбор типа абразивного инструмента связан с продолжительностью выхаживания, эффективностью упрочнения поверхностного слоя. Продолжительность выхаживания при этом оценивается диапазоном 6–8 с.

Стендовые трибологические исследования комбинированного метода АЭХХ и гальванического хромирования, создающих высокопрочные поверхностные слои, определили интенсивность изнашивания 0,002–0,003•10⁻³ кг [9]. Данный диапазон выполняется в условиях установленного сочетания режимов АЭХХ при установленной толщине гальванического покрытия. Эти исследования с учётом анализа фрактограмм демонстрируют отличие в реализации механизма изнашивания.

Сформированным поверхностям после проведения трибологических испытаний свойственны сочетания светлосерого фона при односторонне-ориентированном микрорельефе, а также совершенно гладкие участки с отсутствием следов микрорезания, адгезионно-когезионного схватывания в условиях сухого трения.

Однако отклонения в режимном обеспечении комбинированного метода АЭХХ и гальванического хромирования от опти-

мальных режимов создают нарушения в стабильном трибологическом взаимодействии, вызывая дефекты покрытия. Стендовые испытания возможностей комбинированного метода в условиях знакопеременного циклического нагружения, а также испытания для оценки значений ударной вязкости в целом подтверждают выделенные диапазоны режимного обеспечения при определённой величине слоя гальванического хромового покрытия. Термоциклические испытания показали, что существует возможность надёжного функционирования деталей при диапазоне температур в 1260–1280°С. При более высоких температурах поверхность образца покрывается слоем окисных плёнок.

Кроме перечисленных испытаний произведена оценка осыпаемости гальванического покрытия, наложенного на поверхность, сформированную посредством метода алмазно-электрохимического хонингования. Проведённая оценка показала, что установленный диапазон режимов обеспечивает значения осыпаемости 2–3 % и является существенным улучшением по сравнению с возможностями методов развёртывания, растачивания [10, 11].

Для выполнения комбинированного метода АЭХХ и гальванического хромирования были применены соответствующие оборудование, технологическая оснастка (приспособления), инструменты, класс среды электролитов, оптимизированы режимы.

В состав созданного оборудования для реализации комбинированного метода входили модернизированные вертикально-хонинговальные полуавтоматы моделей 3М83, 3К82У, 3821, применялись специальные инструменты и приспособления, конструкции которых унифицированы и взаимозаменяемы.

Инструментом выступает и хон с оправкой. Основной расчётной величиной при проектировании хона является длина его катодного участка. Наибольшей долговечностью обладают механически закрепляемые изоляторы, изготовленные из пластмасс, не изменяющих свои свойства в электролите: капролона, фторопласта. Большую прочность имеет также изоля-





ционное покрытие из термореактивного материала АГ-4В на основе фенилоформальдегидной смолы и стекловолокна в качестве наполнителя. Покрытие наносится методом литьевого прессования. Ограничители зазора с позиций теории трения и износа желателно изготовлять из материалов высокой твёрдости. Однако попытки делать ограничители из окисной керамики или поликристаллических сверхтвёрдых материалов оказались неудачными, так как при контакте ограничителей с обрабатываемой поверхностью на ней образовывались царапины и ухудшалась шероховатость [12, 13]. Поэтому хоны были снабжены ограничителями из пластмассы.

Работоспособность хона зависит от точности изготовления и применяемых материалов. Силовые элементы (корпус, разжимной конус, клиновые колодки) изготовлены из термообработанной (закалка с низким отпуском) стали 30X13, а посадки подвижных соединений выполнены по 7–8 квалитетам точности [14].

Приспособления для алмазно-электрохимического хонингования механические и спроектированы с учётом особенностей их эксплуатации. За период простоев в зазорах подвижных соединений происходит отложение солей. Чтобы приспособления сохраняли подвижность, в них не приме-

няют точные ходовые посадки, а площадь поверхности сопряжения принимается минимальной. Как показал опыт, поверхность контакта «токоподвод–заготовка», находящаяся в электролите, подвержена анодному растворению [15].

Поэтому:

1) подвод тока к заготовке осуществляется при помощи легко заменяемого специального контактного элемента, входящего в состав приспособления;

2) исключено протекание тока в местах сопряжения приспособления с заготовкой, особенно по базирующим поверхностям.

Если заготовка имела отверстия или щели, пересекающиеся с обрабатываемой поверхностью, то в приспособлениях используются заглушки, устраняющие утечку электролита [16].

По итогам испытаний следует отметить:

– достигнут высокий уровень макро- и микрогеометрической точности – 0,01–0,03 мм и 0,2–0,4 мкм соответственно;

– сформирован сжимающий характер эпюры внутренних остаточных напряжений, максимальные значения которых составляют диапазон 100–400 МПа при значении твёрдости $16,6–17,9 \cdot 10^{-3}$ МПа и величине поверхностного слоя 0,1–0,4 мм;

– структурных и фазовых особенностей в формировании поверхностного слоя по сравнению с основным материалом не обнаружено;

– стендовые трибологические испытания показали повышение износостойкости на 5–10 % при совмещённом механизме когезионно-адгезионного изнашивания;

– испытания в условиях циклического знакопеременного нагружения формируют определённый прирост долговечности (8–10 %) при обеспечении регламентируемых интервалов значений ударной вязкости образцов, при этом повышается адгезионная прочность гальванического покрытия при значениях осыпаемости в 2–3 %;

– термоциклические испытания показали надёжную работоспособность поверхностей деталей при значениях температуры до 930°C;

– по результатам проведённых исследований получены следующие диапазоны режимов метода АЭХХ:

- плотность тока 20–30 А/см²;
- удельное давление хона-инструмента 0,4–0,5 МПа;
- давление электролита 0,6–0,8 МПа;
- напряжение 14–20 В;
- продолжительность 90–200 с;
- электролит 10–15-процентный раствор, ТМС-31;
- соотношение скоростей возвратно-поступательного и вращательного движений 0,2–0,3;

– отклонение режимов метода алмазно-электрохимического хонингования от оптимальных приводит к трещинам, сколу наложенного гальванического покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Усов С. В., Вячеславова О. Ф. и др. Нетрадиционные методы обработки деталей машин, созданные на основе информационных технологий. – Подольск: Славянская школа, 2010. – 150 с.

2. Рябцева А. В., Евстратов С. В., Свириденко Д. С. Основы формирования отверстий малых диаметров применением электротехнологической

обработки и их контроль // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2015. – № 4. – С. 55–57.

3. Попов А. П., Попова Т. А. Оптимизация технологических процессов // Мир транспорта. – 2015. – № 5. – С. 16–25.

4. Гавриш А. П., Роик Т. А., Зигуля С. М. Новые схемы алмазного хонингования высоколегированных композитов деталей трения полиграфических машин // Вісник Хмельницького Національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 6. – С. 39–43.

5. Попов А. П., Попова Т. А., Комаров Ю. Ю. Методы повышения надёжности // Вестник Московского государственного открытого университета. Серия «Техника и технология». – 2013. – № 4. – С. 32.

6. Усов С. В., Поляков С. В. и др. Научные основы создания прогрессивных методов обработки деталей машин. – Подольск: Славянская школа, 2011. – 209 с.

7. Усов С. В., Свириденко Д. С. Электрохимические методы обработки деталей машин: Учеб. пособие. – Подольск: Сатурн-С, 2007. – 122 с.

8. Бахвалов В. А. Способ хонингования глубоких отверстий и инструмент для его реализации // СТИН. – 2006. – № 4. – С. 39–40.

9. Усов С. В., Свириденко Д. С., Смоленцев Е. В., Белякин А. С. Исследование влияния комбинированных методов обработки на трибологические характеристики поверхностного слоя деталей машин // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – № 5. – С. 138–141.

10. Домнин П. В., Тимофеева А. А. Влияние различных способов обработки поверхностей в глубоких отверстиях на показатель шероховатости // Современная техника и технологии. – 2016. – № 3. – С. 16–20.

11. Звонцов И. Ф., Иванов К. М., Серебrenицкий П. П. и др. Технологические методы управления качеством в производстве деталей с глубокими отверстиями // Металлообработка. – 2016. – № 4. – С. 11–25.

12. Смоленцев В. П., Болдырев А. А. Применение магнитно-реологических жидкостей в металлообработке // Нетрадиционные методы обработки: Межвуз. сб. науч. трудов. – Вып. 9. – Ч. 3. – М.: Машиностроение, 2010. – С. 120–129.

13. Bilgi D. S., Jain V. K., Shekhar R., Mehrotra Sh. Electrochemical deep hole drilling in super alloy for turbine application. Journal of materials processing technology, Vol. 149, Iss. 1–3, 2004, pp. 445–452.

14. Pa P. S. Electrode form design of large holes of die material in ultrasonic electrochemical finishing. Journal of materials processing technology. Vol. 192–193, 2007, pp. 470–477.

15. Кузовкин А. В., Смоленцев В. П. Размерное формообразование сложнопрофильных деталей с применением твёрдого токопроводящего наполнителя. – Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2000. – 176 с.

16. Звонцов И. Ф., Серебrenицкий П. П. Электроалмазное хонингование глубоких отверстий. [Электронный ресурс]: <http://mirprom.ru/public/elektroalmaznoe-honingovanie-glubokih-otverstiy.html>. Доступ 22.11.2017. ●

Координаты авторов: **Попов А. П.** – pap60@bk.ru, **Свириденко Д. С.** – d_sviridenko@mail.ru, **Комаров Ю. Ю.** – yk5@ya.ru.

Статья поступила в редакцию 22.11.2017, принята к публикации 17.02.2018.

