

УДК 621.891; 621.923

С.Г. Бишутин

МЕТОДИКА ВЫБОРА РЕЖИМОВ ФИНИШНОГО ШЛИФОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С УЧЕТОМ ТРЕБУЕМОЙ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ¹

Представлена научно обоснованная методика выбора и корректировки режимов финишного шлифования поверхностей трения деталей машин с учетом их требуемой износостойкости. Приведены результаты экспериментов, характеризующие влияние режимов обработки на износостойкость поверхности.

Ключевые слова: финишное абразивное шлифование, режимы шлифования, износостойкость поверхности, технологическое обеспечение износостойкости.

Значительное влияние на процесс изнашивания деталей оказывает состояние их тонких поверхностных слоев [1; 10]. Наиболее часто поверхности трения и поверхностные слои формируются в ходе шлифования, являющегося финишным этапом большинства технологических процессов изготовления ответственных деталей машин. В исследованиях [2;3; 11; 12] отмечается, что финишная обработка материала способна существенно влиять на износостойкость поверхности. Однако при этом недостаточно внимания уделяется научно обоснованному выбору условий и режимов шлифования поверхностей трения. Этому актуальному вопросу и посвящена данная статья.

Износостойкость поверхности может характеризоваться скоростью изнашивания γ . Скорость изнашивания приработанной поверхности, сформированной при финишной абразивной обработке, в произвольной точке контакта можно представить в виде [2;3]

$$\gamma = skpv, \quad (1)$$

где s – размерный коэффициент, зависящий от условий изнашивания поверхности; k – безразмерный коэффициент износостойкости поверхностного слоя детали пары трения; p – давление в контакте; v – скорость скольжения.

Такой вид закона изнашивания приработанных поверхностей согласуется с результатами исследований А.С. Проникова, М.М. Хрущева, Д. Арчарда, Д.Г. Эванса, Д.К. Ланкастера и др.

Значение k будет определяться состоянием материала поверхностного слоя, зависящим от условий и режимов финишной абразивной обработки. Это можно объяснить тем, что обработанная поверхность внешними факторами процесса абразивной обработки (термическим и силовым) переводится в неравновесное состояние. В процессе трения материал детали в микроконтактах поверхностных слоев стремится к более равновесному состоянию благодаря наличию значительной доли дефектной фазы, сформированной при финишной абразивной обработке. Очевидно, что процесс перехода материала из неравновесного состояния (после обработки) в более равновесное (в процессе изнашивания) в основном и определяет влияние режимов шлифования на износостойкость поверхности.

В ходе исследований [2-4] были установлены следующие факторы, в наибольшей степени влияющие на структурно-фазовое состояние поверхностного слоя и комплексно характеризующие термическое и силовое воздействия абразивной обработки: $\dot{\epsilon}$ – скорость деформирования материала в ходе обработки, s^{-1} ; a_z – глубина внедрения вершин абразивных зерен в обрабатываемый материал, зависящая от режимов обработки, m ; ρ – радиус скругления вершин абразивных зерен, m ; λ – интенсивность контактирования рассматриваемого участка поверхности заготовки с абразивным инструментом, s^{-1} . Также

¹ Отдельные результаты исследований получены при выполнении проекта № 1353 (06/61) в рамках государственного задания на выполнение работ.

были проведены эксперименты, в ходе которых была получена формула для коэффициента k в виде

$$k = \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\lambda} \right)^{0,2} \left(\frac{a_z}{\rho} \right)^{1,5}; \quad (2)$$

$$3 \cdot 10^3 \leq \frac{\dot{\varepsilon}}{\lambda} \leq 9 \cdot 10^6; \quad 0,20 \leq \frac{a_z}{\rho} \leq 0,75.$$

Здесь $\lambda = \omega N_0$, где ω – частота вращения заготовки или число рабочих ходов абразивного инструмента в единицу времени; N_0 – число контактов рассматриваемого участка поверхности заготовки с абразивным инструментом.

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_i V_k}{L_3}, \quad (3)$$

где ε_i – интенсивность деформаций материала поверхностного слоя при обработке, зависящая от его физико-механических характеристик; L_3 – длина очага деформации перед вершиной абразивного зерна в направлении вектора скорости резания V_k .

При шлифовании поверхности абразивными кругами

$$a_z = \left(\frac{Q_\phi \left(0,62 \frac{N}{V} \right)^2}{\rho^{0,5} A^{0,5} K_c V_k V_s F_c (1-\lambda) k_m k_b q} \right)^{0,5}, \quad (4)$$

где Q_ϕ – фактическая производительность процесса шлифования (зависит от режимов обработки и величины упругих отжатий в технологической системе); V_s – скорость подачи заготовки; N – число контактов рассматриваемого участка поверхности заготовки со шлифовальным кругом; F_c – доля вершин зерен рабочей поверхности шлифовального круга, находящихся на рассматриваемой глубине; V – объемное содержание зерен в круге; N – зернистость шлифовального круга; $(1-\lambda)$ – доля вершин зерен, образующих срезы; k_m – коэффициент, учитывающий фактическое число зерен на рабочей поверхности круга; k_b – коэффициент, учитывающий колебания рабочей поверхности круга относительно заготовки; q – отношение числа режущих вершин к числу абразивных зерен рабочей поверхности круга (для электрокорунда и карбида кремния зеленого эта величина соответственно равна 1,5...2,0 и 1,7...2,3); $A = D_k$ – для плоского шлифования периферией круга; $A = D_3 D_k / (D_3 \pm D_k)$ – для круглого наружного (+) и внутреннего (-) шлифования периферией круга; D_3, D_k – диаметры заготовки и шлифовального круга; K_c – коэффициент стружкообразования, равный отношению объема металла, удаляемого в виде стружки, к объему шлифовочной царапины.

Уравнения (2-4) учитывают все основные факторы процесса шлифования. Примеры расчетов по этим уравнениям представлены в [2-5].

Оценим с помощью уравнения (2) возможности финишной абразивной обработки по повышению износостойкости поверхности.

На чистовых режимах обработки ответственных поверхностей деталей обычно a_z/ρ составляет 0,3...0,45. При переходе на более щадящие режимы обработки и использовании специальных смазочно-охлаждающих технологических средств, облегчающих процесс стружкообразования, удастся снизить соотношение a_z/ρ до 0,15...0,2, т.е. отношение a_z/ρ при финишной абразивной обработке можно менять от 1,5 до 3 раз. Подставляя эти соотношения в уравнение (2), можно установить, что износостойкость поверхности можно повысить за счет подбора режимов и условий обработки до 2–4 раз. Проведенные эксперименты (таблица) показали 2–3-кратное повышение износостойкости поверхности толь-

ко лишь за счет варьирования глубины резания и времени выхаживания обрабатываемой поверхности, что доказывает возможность существенного повышения износостойкости поверхности при финишной абразивной обработке.

Таблица

Изменение износостойкости поверхности (раз) при варьировании режимов окончательного шлифования

Материал (твердость)	Варьируемая величина		
	Глубина шлифования	Время выхаживания	Глубина шлифования и время выхаживания
Сталь 45 (HB 200...220)	1,4...1,5	1,8...1,9	2,5...2,7
Сталь 45 (HRC 46...50)	1,3...1,4	1,4...1,6	2,0...2,5
Сталь 12ХН3А (HRC 58...62)	1,2...1,3	1,3...1,5	1,9...2,2
Сталь 12Х18Н10Т (HB 190...210)	1,6...2,0	1,7...2,4	2,6...3,0
Сталь 35ХГСА (HRC 40...45)	1,5...1,7	1,6...2,1	2,3...2,6

Примечания: 1. Глубина шлифования варьировалась в пределах от 5 до 20 мкм, время выхаживания – от 0 до 5 мин. 2. Испытания проводились на машине трения МИ-1М по схеме «вращающийся диск - невращающийся твердосплавный индентор» [2]

Учитывая изложенное, можно предложить следующую методику выбора и корректирования технологических режимов на существующих операциях шлифования поверхностей трения:

1. Анализ существующей технологической операции финишной абразивной обработки. В ходе анализа необходимо выяснить применяемые технологические режимы обработки и определить исходные данные для расчетов по формулам (2-4).

2. Расчет новых показателей износостойкости контактирующей поверхности (или поверхностей), обеспечивающих требуемое повышение износостойкости пары трения. На данном этапе следует оценить влияние каждой контактирующей поверхности на износостойкость трибосопряжения в целом и рассчитать новые показатели износостойкости деталей пары трения. Для выполнения необходимых расчетов можно использовать данные источников [6-9].

3. Определение скорости деформирования материала в ходе обработки, глубины внедрения вершин абразивных зерен в обрабатываемый материал, радиуса скругления вершин абразивных зерен и интенсивности контактирования рассматриваемого участка поверхности заготовки с абразивным инструментом. Эти величины необходимы для расчета коэффициента k износостойкости материала поверхностного слоя детали или деталей пары трения [см. уравнения (1) и (2)].

4. Корректирование технологических режимов финишного шлифования. Корректировка должна быть проведена таким образом, чтобы

$$\frac{k_1^*}{k_2^*} = \left(\frac{\dot{\varepsilon}_1 \lambda_2}{\lambda_1 \dot{\varepsilon}_2} \right)^{0,2} \left(\frac{a_{z1} \rho_2}{\rho_1 a_{z2}} \right)^{1,5} \geq \Pi, \quad (5)$$

где k_1^* , k_2^* – безразмерный коэффициент износостойкости поверхностного слоя детали до и после корректирования режимов обработки; Π – требуемое изменение износостойкости поверхности вследствие корректирования режимов обработки.

Индекс 1 в неравенстве (5) относится к исходным технологическим режимам, индекс 2 – к скорректированным режимам обработки.

Если неравенство (5) выполняется, то следует выполнить проверочные расчеты новых режимов финишной абразивной обработки, в противном случае необходимо продолжить корректировку технологических режимов финишной обработки.

5. Проверочные расчеты выбранных условий и режимов абразивной обработки, вызванные необходимостью обеспечения заданных точности и шероховатости поверхности, отклонения формы поверхности и недопущения прижогов. Необходимый материал для проведения таких расчетов представлен в [1-5].

Рассмотрим на конкретном примере процесс выбора и корректирования режимов финишного абразивного шлифования наружной цилиндрической поверхности трения.

Требуется увеличение в 1,5 раза износостойкости шарнирного соединения механизма управления трактора Т-20 (рисунок). Ведущий вид изнашивания сопряжений шарнира – усталостный. Поверхность трения (Ø50×120 мм) оси цилиндрического шарнира из стали 35ХГСА (40...45 HRC) формируется при круглом наружном шлифовании. Припуск под шлифование составляет 0,15 мм на сторону. Для обработки применяется круг 1–300×40×127 24AF46L6V. Режимы абразивной обработки следующие: скорость вращения круга $V_k = 30$ м/с; скорость вращения заготовки $V_3 = 30$ м/мин; поперечная подача шлифовального круга (глубина шлифования) $t_{\phi} = 0,01$ мм/ход; продольная подача стола станка $V_s = 0,3$ м/мин. Амплитуда колебаний шлифовального круга относительно обрабатываемой заготовки $A = 2$ мкм. Охлаждение осуществляется свободным поливом эмульсией «Укринол-1М».

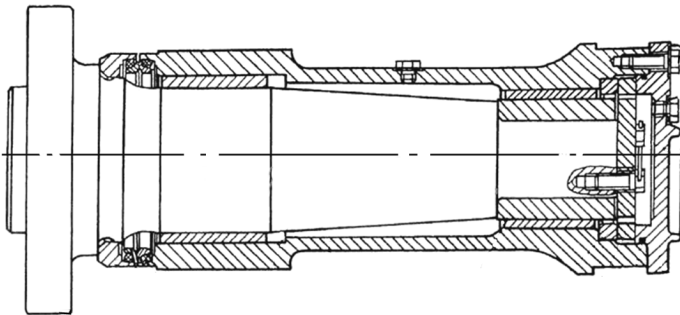


Рис. Шарнир механизма управления трактора Т-20

В ходе анализа конструкции шарнира установлено, что отношение скоростей изнашивания его втулки и оси составляет 5/4. Тогда для повышения износостойкости сопряжения в 1,5 раза необходимо уменьшить скорость изнашивания оси шарнира в 2 раза. Это можно осуществить путем изменения режимов финишного шлифования. Изменения должны быть проведены таким образом, чтобы

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{k_1}{k_2} = \left(\frac{\dot{\epsilon}_1 \lambda_2}{\lambda_1 \dot{\epsilon}_2} \right)^{0,2} \left(\frac{a_{z1} \rho_2}{\rho_1 a_{z2}} \right)^{1,5} = 2,$$

где γ_1, γ_2 – скорость изнашивания шлифованной поверхности до и после корректирования режимов обработки [см. уравнения (1) и (2)]; k_1, k_2 – безразмерный коэффициент износостойкости поверхностного слоя оси шарнира до и после корректирования режимов обработки.

Расчеты по уравнениям (2-4) показали, что для исходных режимов обработки $a_{z1} = 7,5$ мкм, $\rho_1 = 25$ мкм, $\dot{\epsilon}_1 = 5,6 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$, $\lambda_1 = 82 \text{ с}^{-1}$.

Если снизить глубину шлифования до 6 мкм и применить в конце обработки выхаживание поверхности оси шарнира в течение 1 минуты, то $a_{z2} = 5$ мкм, $\rho_2 = 25$ мкм, $\dot{\epsilon}_2 = 4,8 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$, $\lambda_2 = 140 \text{ с}^{-1}$.

Подставляя полученные данные в последнее уравнение, получим

$$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \left(\frac{5,6 \cdot 10^5}{82} \frac{140}{4,8 \cdot 10^5} \right)^{0,2} \left(\frac{7,5}{25} \frac{25}{5} \right)^{1,5} = 2,1.$$

Проведенные исследования показывают, что при новых режимах обработки износостойкость поверхности оси шарнира увеличится в 2,1 раза.

Проверочные расчеты подтвердили обеспечение заданного качества и точности обработки поверхности трения при шлифовании на новых режимах.

В заключение следует отметить, что за счет выбора рациональных режимов финишной обработки возможно повышение износостойкости поверхности до 3 раз. Для повышения износостойкости деталей машин следует формировать поверхностные слои с малым градиентом упрочнения в условиях бесприжоговой обработки. Это достигается снижением глубины резания, включением в цикл обработки выхаживающих ходов абразивного инструмента, снижением вибраций в технологической системе, применением смазочно-охлаждающих средств, облегчающих стружкообразование.

Рассмотренную методику выбора режимов обработки целесообразно применять при изготовлении деталей машин и механизмов, работающих в условиях усталостного изнашивания. Если требуется повышение износостойкости более чем в 3 раза, то следует рассмотреть другие методы конструкторско-технологического обеспечения и повышения износостойкости рассматриваемой поверхности детали, поскольку варьированием режимов шлифования нельзя достичь такого эффекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сулов, А.Г. Инженерия поверхности деталей/ А.Г. Сулов, В.Ф. Безъязычный, Ю.В. Панфилов [и др.]; под ред. А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2008. – 320 с.
2. Бишутин, С.Г. Износостойкость сформированных при шлифовании поверхностных слоев деталей машин/ С.Г. Бишутин, М.И. Прудников; под ред. С.Г. Бишутина. – Брянск: БГТУ, 2010. – 100 с.
3. Бишутин, С.Г. Качество и износостойкость шлифованных поверхностей деталей автомобилей/ С.Г. Бишутин. – Брянск: Десяточка, 2011. – 100 с.
4. Бишутин, С.Г. Структурирование поверхностных слоев деталей при финишной абразивной обработке/ С.Г. Бишутин. – Брянск: БГТУ, 2009. – 100 с.
5. Бишутин, С.Г. Обеспечение требуемой совокупности параметров качества поверхностных слоев деталей при шлифовании / С.Г. Бишутин. – М.: Машиностроение-1, 2004. – 144 с.
6. Крагельский, И.В. Узлы трения машин /И.В. Крагельский, Н.М. Михин. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
7. Мышкин, Н.К. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии/ Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец. – М.: Физматлит, 2007. – 368 с.
8. Проников, А.С. Надежность машин/ А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 480 с.
9. Крайнев, А.Ф. Конструирование машин: справ.-метод. пособие: в 2 т./ А.Ф. Крайнев, А.П. Гусенков, В.В. Болотин [и др.]; под ред. К.В. Фролова. – М.: Машиностроение, 1994. – Т.2. – 624 с.
10. Прогрессивные инструменты и технологии шлифования: коллективная монография /Под ред. А.В. Киричека. – М.: Издательский дом СПЕКТР, 2013. – 320 с.
11. Зубарев, Ю.М. Плоское шлифование. Оборудование, оснастка, технологии / Ю.М. Зубарев, В.Г. Юрьев, В.В. Звоновских // Справочник. Инженерный журнал. Приложение. – 2014. - № 11. – С. 1 – 24.
12. Зубарев, Ю.М. Плоское шлифование. Оборудование, оснастка, технологии (продолжение) / Ю.М. Зубарев, В.Г. Юрьев, В.В. Звоновских // Справочник. Инженерный журнал. Приложение. – 2014. - № 12. – С. 1 – 24.

Материал поступил в редколлегию 29.01.15.