

Ефремов В.В., канд. техн. наук, доц.,
Кутовой С.С., д-р техн. наук, проф.,
Агошков А.В., адъюнкт

Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище им. генерала армии В.Ф. Маргелова

ОСОБЕННОСТИ ПОДБОРА ЗЕРНИСТОСТИ АБРАЗИВНОГО ИНСТРУМЕНТА ПРИ ШЛИФОВАНИИ НАПЫЛЕННЫХ ПОКРЫТИЙ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

militantfish@yandex.ru

В настоящее время вопрос своевременного и качественного восстановления вышедшей из строя автомобильной техники имеет решающее значение. Оптимизация мероприятий капитального ремонта позволит значительно повысить ресурс как отдельных узлов и агрегатов, так и жизненный цикл автомобиля в целом. Коленчатый вал – одна из самых сложных и дорогостоящих частей конструкции автомобиля. Как правило, восстановление поврежденных коленвалов происходит путем перешлифовки под очередной ремонтный размер. Однако, существует перспективная технология восстановления (методом плазменного напыления), которая не получила распространения из-за отсутствия рекомендаций по механической обработке (а именно шлифованию) напыленных покрытий. Теоретически описав особенности подбора зернистости абразивного инструмента при шлифовании напыленных покрытий, получим возможность с их учетом спроектировать технологический процесс, проверить его и внедрить в ремонтное производство.

Ключевые слова: военная автомобильная техника, коленвал, шлифование, ресурс, жизненный цикл.

На сегодняшний день существует проблема выбора технологических режимов обработки восстановленных поверхностей коленчатых валов. Причина этого заключается в недостатке информации о внутренних процессах, протекающих в напыленном слое при шлифовании.

Восстановленные поверхности рекомендуют шлифовать на тех же режимах, что и монолитные детали [1, 2]. Обработка на круглошлифовальных станках ведется методом многопроходного шлифования. Напыленные покрытия обрабатывают методом продольного шлифования, так как обеспечиваются наименьшие параметры шероховатости и минимальное тепловыделение. При их шлифовании скорость резания выбирают экспериментально, и она составляет 15–100 м/мин при подаче 0,05–0,15 мм/об. Однако процесс шлифования восстановленных поверхностей, вследствие физико-механических особенностей материала, сопровождается явлениями микрорезания и хрупкого разрушения, которые практически независимы и сопутствуют друг другу [3].

При обработке напыленных покрытий стойкость инструмента намного меньше, чем при обработке монолитных материалов с такими же механическими свойствами и химическим составом. Это связано со спецификой формирования покрытия, особенностями его структуры и свойств (структурная неоднородность материала, шлаки и твердые включения, значительный окисный слой на поверхности и внутри материала, поры, трещины). Вследствие этого при абразивной обработке напыленных покрытий наблюдаются значительные колебания сил реза-

ния, повышение контактных нагрузок на инструмент, ускоренный его износ. В этих условиях требуются более точные и экономичные методы выбора абразивного материала, назначения режимов резания.

Хрупкое разрушение, в конечном счете, оказывает отрицательное влияние на качество обработанной поверхности и, как следствие, на ее триботехнические свойства. Поэтому при обработке восстановленных покрытий целесообразно уменьшить напряженное состояние обработанной поверхности в результате резания, расширением технологических возможностей процесса шлифования. Для этого необходимо формировать рабочий цикл назначением рационального режима шлифования покрытий не только путем распределения припуска продольной и поперечных подач, но также подбором величины зернистости круга и применением процесса выхаживания детали инструментом, то есть технологическими факторами режима шлифования.

Изучение поверхности детали, восстановленной плазменным напылением, проводилось в работе [3]. В ней определяется рациональный режим обработки, обеспечивающий максимальную износостойкость напыленной поверхности и заключающийся в соблюдении следующих значений факторов процесса шлифования:

- способ подачи смазочно – охлаждающей жидкости (СОЖ) – комбинированный;
- твердость шлифовального круга – Δ – СМ;
- скоростью вращения шлифовального

- круга – $V_{кр} = 2100$ м/мин;
- скоростью вращения детали – $V_{д} = 65$ м/мин;
 - продольной подачей – $S = 1,15$ м/мин;
 - поперечной подачей – $t = 0,01$ мм/ход;
 - расход СОЖ – $Q = 0,20$ л/с.

В этой работе решается задача повышения износостойкости трибосопряжения «плазменное покрытие коленчатого вала – вкладыш», при шлифовании, а вопросы качественного состояния поверхности рассматриваются лишь косвенно.

Зернистость абразивного инструмента оказывает непосредственное влияние практически на все параметры качества поверхности, и шероховатость не является исключением. В справочной литературе существует масса рекомендаций по подбору значений зернистости кругов в зависимости от назначений операций шлифования. Например, производственная компания «ЭЛКОР» - официальный представитель итальянской организации «Said Abrasivi» в РФ, один из флагманов отечественного производства абразивных инструментов предлагает следующую зависимость шероховатости поверхности от зернистости круга:

Таблица 1

Зависимость шероховатости поверхности от зернистости абразивного инструмента

Зернистость	Шероховатость R_a , мкм
40–25	1,25–0,5
20–12	0,4–0,2
10–6	0,16–0,12
M28–M14	0,1–0,08

Однако, на фоне изобилия рекомендаций по подбору зернистости кругов для шлифования основных поверхностей, отсутствуют аналогичные данные для восстановленных, напыленных поверхностей.

Используя один из теоретических подходов к описанию формирования шероховатости и микронеровности поверхности детали [3] нами проводилось исследование процессов, протекающих при шлифовании восстановленных поверхностей и оказывающих непосредственное влияние на ее качественные характеристики.

Согласно проектно-конструкторской документации и Технических условий на изготовление коленчатого вала (для примера принят коленчатый вал двигателя КамАЗ 740.30) среднее отклонение величины шероховатости (R_a) коренных шеек должно составлять 0,32 мкм. Для обеспечения такого значения указанной величины, справочной литературой рекомендуется при шлифовании применять круги зернистостью 16 по ГОСТ 3647-80. Опираясь на опыт исследований в данной области [3], где эмпирическим путем был получен положительный результат по обеспечению износостойкости при использовании более крупнозернистого круга зернистостью 40 (по ГОСТ 3647-80), теоретически опишем результаты применения данного абразивного инструмента.

При определении зернистости круга в первую очередь определяется максимально возможное число абразивных зерен на рассматриваемой площади круга

$$m_0 = \frac{S_0}{S_3} \approx \frac{S_0 k_k}{(0,62N/V)^2}, \quad (1)$$

где S_0 – площадь рассматриваемого участка поверхности инструмента; S_3 – площадь рабочей поверхности круга, приходящаяся на одно абразивное зерно; k_k – коэффициент, учитывающий принятую конфигурацию расположения центров зерен на рабочей поверхности круга ($k_k = 1,155$); N – зернистость инструмента по ГОСТ 3647-80; V – объемное содержание зерен в инструменте, % (определяется номером структуры круга).

Величина m_0 – также определяется, как суммарное количество зерен, которые контактировали (m_k) и не контактировали (m_n) с правящим инструментом. Определенную часть зерен типа « m_k » составляют абразивные частицы, претерпевшие различное разрушение в процессе правки, но оставшиеся на поверхности круга, именуемые в дальнейшем: зерна типа « m_p ». Определив величину m_p получим значение вероятности диспергирования продуктов абразивного износа, находящихся на поверхности круга на обрабатываемую поверхность.

$$m_p = \frac{J m_0}{J + 0,5(d_c - d_{нм}) + t_1}, \quad (2)$$

где J – критическая глубина взаимодействия абразивного зерна с правящим инструментом ($J = 20 \dots 40$ мкм); t_1 – расстояние между наиболее выступающими и наиболее углубленными вершинами зерен рабочей поверхности круга ($t_1 = 0,6 \dots 0,7 d_c$); $d_c, d_{н6}, d_{нм}$ – диаметры среднего,

наибольшего и наименьшего зерен круга соответственно.

Как видно из формулы (2), для определения числовых значений величины m_p необходимо

$$d_c = 1,162N \cdot 10^{-2} \text{ мм}, \tag{3}$$

$$d_{н6} = d_c - \frac{7,851}{(N-8)^2} + 0,211d_{нм} = d_c + \frac{7,851}{(N-8)^2} - 0,211 \text{ мм}, \tag{4}$$

$$d_{н6} = d_c - \frac{7,851}{(N-8)^2} + 0,211 \text{ мм}, \tag{5}$$

Подставляя поочередно значение зернистости круга из общих рекомендаций (16 по ГОСТ 3647-80) и более крупнозернистого (40 по ГОСТ

знать минимальный и средний размеры абразивного зерна в инструменте:

3647-80) в уравнения (3), (4) и (5) получаем размеры зерен рассматриваемых кругов (таблица 2).

Таблица 2

Размеры зерен рассматриваемых абразивных кругов

Абразивный круг зернистостью 16 по ГОСТ 3647-80	Абразивный круг зернистостью 40 по ГОСТ 3647-80
$d_{c1} = 0,186d_{c1} = 0,186, \text{ мм}$	$d_{c2} = 0,465d_{c2} = 0,465, \text{ мм}$
$d_{н61} = 0,274d_{н61} = 0,274, \text{ мм}$	$d_{н62} = 0,668d_{н62} = 0,668, \text{ мм}$
$d_{нм1} = 0,097d_{нм1} = 0,097, \text{ мм}$	$d_{нм2} = 0,261d_{нм2} = 0,261, \text{ мм}$

Подставляя полученные данные в формулу (2), получим выражение для определения количества зерен m_p , контактировавших с правящим инструментом, претерпевших частичное разрушение, но находящихся на поверхности абразивного круга:

$$m_{p1} = 0,153 m_{01}, \tag{6}$$

$$m_{p2} = 0,069 m_{02}, \tag{7}$$

где m_{01} , m_{p1} и m_{02} , m_{p2} – максимально возможное число абразивных зерен на рассматриваемой площади поверхности и количество зерен, производящих продукты абразивного износа кругов зернистости 16 и 40 по ГОСТ 3647-80 соответственно.

Учитывая, что значения величины m_{01} значительно больше, чем m_{02} (это является вполне логичным утверждением, учитывая, что количество зерен крупнозернистого круга, на одинаковой площади, меньше чем мелкозернистого) делаем вывод, что количество абразивных частиц, претерпевших частичное разрушение, но оставшихся на поверхности инструмента в процессе правки в кругах с зернистостью 16 более чем в 2,2 раза превышает, наличие таковых чем в круге с зернистостью 40. Значит, мы имеем полное право предположить, что применение более крупнозернистых кругов позволит минимизировать процесс диспергирования продуктов абразивного износа на обрабатываемую поверхность. Данное предположение особенно важно при шлифовании восстановленных, напыленных поверхностей, т.к. их структура носит пористый характер и подвержена внедрению продуктов абразивного износа.

Однако, оказывая влияние на структурную характеристику поверхностного слоя детали путем увеличения зернистости инструмента, мы, тем самым, повышаем значение шероховатости. Появляется необходимость стабилизации этого параметра качества.

Одним из способов снижения шероховатости поверхности является применение процедуры выхаживания абразивным инструментом. Однако, по ряду причин, она не входит в стандартный технологический процесс шлифования коленчатого вала. На рисунке 1 изображен график зависимости шероховатости обрабатываемой поверхности от числа выхаживающих ходов инструмента, из которого видно, что с увеличением зернистости возрастает и степень влияния выхаживания на шероховатость. Поэтому, при проектировании технологического процесса по шлифованию восстановленного коленчатого вала нами предлагается применять именно выхаживание, как способ оптимизации значения шероховатости поверхности.

Исследователями процесс выхаживания описывается, как средство снижения шероховатости поверхности и предлагаются формулы для его расчета [3]. Для последнего выхаживающего хода:

$$a_1 = 1 \tag{8}$$

для предпоследнего выхаживающего хода:

$$a_{I-1} \approx 1 - \left(\frac{y_1}{R_{\max 1}} \right)^{1,5} \approx 1 - \left(\frac{y_1}{R_{\max 1}} \right)^{1,5} \tag{9}$$

для хода, предшествующему предпоследнему:

$$a_{I-2} \approx 1 - \left(\frac{y_1 + y_{I-1}}{R_{\max 1}} \right)^{1,5} \approx 1 - \left(\frac{y_1 + y_{I-1}}{R_{\max 1}} \right)^{1,5} \tag{10}$$

и так далее до последнего рабочего хода инструмента.

где I – количество выхаживающих ходов инструмента; y – изменение радиуса заготовки на определенном ходу инструмента; $R_{\max 1}$ – макси-

мальная высота неровностей профиля, формируемая при отсутствии выхаживающих ходов; a – коэффициент, характеризующий степень влияния выхаживающего хода на формирование профиля микронеровностей поверхности.

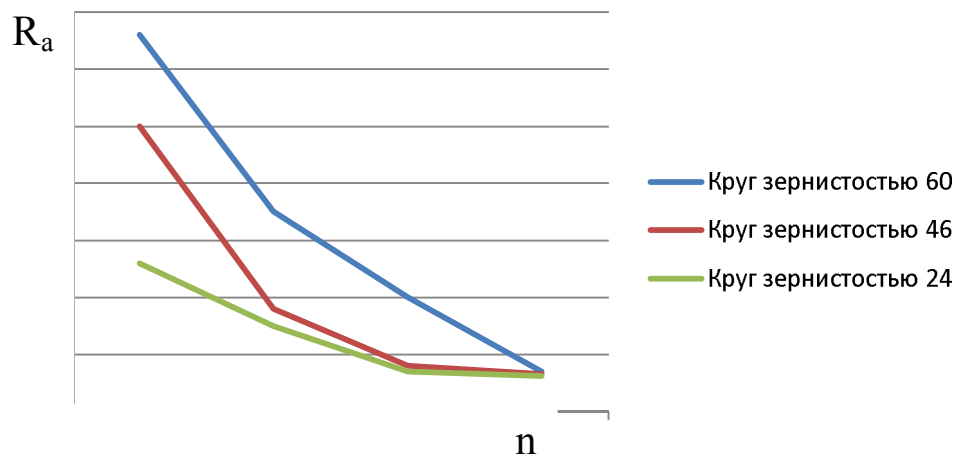


Рис. 1. Зависимость шероховатости от числа выхаживающих ходов инструмента [4]

Выводы:

Установлено, что в процессе шлифования напыленных покрытий образуются продукты абразивного износа, часть из которых остаются на поверхности круга и внедряются в поры напыленной поверхности, снижая тем самым ее качество. Также определено, что количество этих частиц уменьшается с увеличением зернистости круга. В связи с этим, с целью обеспечения такого параметра качества как структура поверхностного слоя, предлагается при шлифовании восстановленных деталей применять круги, зернистость которых выше, чем рекомендуемых справочной литературой. С целью стабилизации значения среднего отклонения профиля шероховатости поверхности (который закономерно увеличится при применении кругов более крупной зернистости) предлагается применить процедуру выхаживания детали абразивным инструментом.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Денисов А.С., Кулаков А.Т. Обеспечение надежности автотракторных двигателей. Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2007. 422 с.

2. Горшенина Е.Ю., Тугушев Б.Ф. Итальянский опыт восстановления коленчатых валов // Совершенствование технологий и организации обеспечения работоспособности машин: сб. науч. Трудов / Саратов. гос. техн. ун-т. Саратов, 2007. 137 с.

3. Ефремов В. В. Обеспечение износостойкости трибосопряжений дизелей военной автомобильной техники на этапе шлифования деталей, восстановленных плазменным напылением: дис. ... канд. техн. наук : 20.02.17: защищена 8.10.05 : утв. 23.01.06 / Владимир Владимирович Ефремов. Рязань, 2005. 183 с.

4. Бишутин С. Г. Технологическое обеспечение требуемых значений совокупности параметров качества поверхностного слоя деталей при шлифовании с наибольшей производительностью : дис. ... докт. техн. наук : 05.02.08: защищена 18.12.05 : утв. 11.02.06 / Сергей Геннадьевич Бишутин. Брянск, 2005. 327 с.

5. Энциклопедия по машиностроению XXL оборудование, материаловедение, механика и ... [Электронный ресурс]. URL: [http:// mash-xxl.info](http://mash-xxl.info) (дата обращения: 30.04.2016).

Efremov V.V., Kutovoi S.S., Agoshkov A.V.

FEATURES SELECTION OF GRAIN ABRASIVE TOOL FOR GRINDING OF SPRAYED COATINGS OF CRANKSHAFTS

Currently the issue of restoration and repair of automobiles is very important. Improving the quality of overhaul will increase vehicle life cycle. Crankshaft – one of the most expensive parts of the car. Found, that the repair crankshafts grind size under another. There is a technology, that has not been spread due to the lack of guidance on handing. Theoretically described mechanism of the grinding process, will be able to check it in practice and put in to production.

Key words: Military Vehicles, Crankshaft, grinding, resource, life cycle.

Ефремов Владимир Владимирович, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры автотехнического обеспечения

Рязанское высшее воздушно – десантное командное училище им. генерала армии В.Ф. Маргелова.

Адрес: Россия, 390031, Рязань, площадь генерала армии В.Ф. Маргелова, дом 1.

E-mail: militantfish@yandex.ru

Кутовой Сергей Степанович, доктор технических наук, профессор кафедры автотехнического обеспечения

Рязанское высшее воздушно – десантное командное училище им. генерала армии В.Ф. Маргелова.

Адрес: Россия, 390031, Рязань, площадь генерала армии В.Ф. Маргелова, дом 1.

E-mail: militantfish@yandex.ru

Агошков Андрей Владимирович, адъюнкт очной штатной адъюнктуры кафедры автотехнического обеспечения

Рязанское высшее воздушно – десантное командное училище им. генерала армии В.Ф. Маргелова.

Адрес: Россия, 390031, Рязань, площадь генерала армии В.Ф. Маргелова, дом 1.

E-mail: militantfish@yandex.ru