

УДК 629.083

Савченков Б.В., Гончаров В.Г., Леоненко А.Н.

## **ДИСКРЕТНАЯ ОБРАБОТКА – ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

### **Введение**

Качественный капитальный ремонт агрегатов транспортной техники является важной экономической задачей в масштабе всей страны. Основным фактором повышения экономической эффективности капитального ремонта агрегатов транспортной техники является максимальное использование остаточного ресурса деталей.

Работоспособность двигателя, стабильность его технико-экономических характеристик в процессе эксплуатации в значительной степени зависят от срока службы и состояния коленчатого вала. Для данной детали весьма важными показателями, определяющими её эксплуатационные свойства, являются культура производства, включая уровень технологии изготовления (восстановления), механические характеристики материала и качество рабочих поверхностей детали, а также её ремонтпригодность. Оптимизация данных показателей в достаточной степени позволит увеличить ресурс как самой детали, так и двигателя в целом и следовательно значительно сократит затраты на закупку запасных частей.

### **Анализ последних достижений и публикаций**

В условиях постоянного ужесточения требований к эксплуатационным характеристикам деталей узлов и агрегатов рекомендации о подборе материалов контактирующих пар в рамках традиционного ассортимента металлов и способов их упрочнения становятся малоэффективными.

Анализируя применяемые в производстве способы упрочнения и восстановления ресурса коренных и шатунных шеек коленчатых валов, используемых как при их изготовлении, так и при ремонте, можно выделить для них общие недостатки: стандартные упрочняющие способы и традиционные технологии нанесения износостойких покрытий в большинстве своём не обеспечивают требуемого уровня повышения износостойкости и усталостной прочности деталей одновременно; триботехнические характеристики упрочнённых поверхностей и износостойких покрытий деталей в значительной степени зависят от скорости скольжения, удельного давления (нагрузок) и температуры; упрочняющие покрытия не обеспечивают качественного сцепления покрытия с подложкой (деталью); стандартные упрочняющие процессы достаточно энергоёмки; необходимость наличия увеличенных припусков под механическую обработку после упрочнения для устранения возможной деформации детали; изменение градиента температур в основном материале детали приводит к разрушению износостойких покрытий; большие капитальные вложения по организации производств для упрочнения деталей и устранению экологически вредных процессов.

Таким образом, используемые способы упрочнения и нанесения износостойких покрытий не позволяют получить удовлетворительное сочетание необходимого уровня эксплуатационных характеристик трибосистем с приемлемыми технологичностью, ремонтпригодностью и экономичностью процессов изготовления и ремонта деталей.

Из всех известных традиционных способов упрочнения и нанесения износостойких покрытий наиболее эффективным, особенно по сравнению с химико-термической обработкой, является метод электроискрового легирования, суть которого заключается в переносе металла с анода на катод в момент искрового разряда между

ними. Одновременно с переносом металла в момент разряда происходит макролегирование приповерхностной зоны детали, что приводит к изменению химического состава и физико-механических свойств материала основы в пятне контакта с электродом.

Процесс электроискрового легирования имеет ряд особенностей, таких как перенос материала зависит от эрозионной стойкости анода и катода [1]; ограничения по толщине наносимого слоя и глубине легированного слоя [2, 3]; ограничения по шероховатости поверхности [4, 5]; низкая производительность процесса [6]; приводит к образованию на поверхности каверн [4, 6].

Исходя из вышеперечисленных особенностей, ряд исследователей указывали, что для получения качественного слоя достаточно, чтобы оптимальная длительность процесса на упрочняемом участке покрытия соответствовала дискретному действию разряда [2 - 6]. То есть, процесс упрочнения осуществляется с помощью электрического разряда, образовавшегося в результате импульсной подачи энергии в короткий промежуток времени.

### **Цель и постановка задачи**

Целью исследования является совершенствование процесса ремонта коленчатых валов за счёт внедрения в производство прогрессивных технологических процессов их восстановления и упрочнения с учётом конструктивно-технологических особенностей и возможных дефектов.

### **Результаты исследований**

С целью обеспечения использования всех положительных факторов износостойких дискретных покрытий и исключения появления возможных недостатков разработан способ формирования износостойких поверхностей металлических изделий [7], суть которого заключается в следующем. На внешнюю поверхность изделия одним из известных способов, например, электроискровым методом, наносится дискретное покрытие из легирующих материалов, в виде расположенных на расстоянии друг от друга островков, линий всевозможной конфигурации и т.д. (рис. 1).

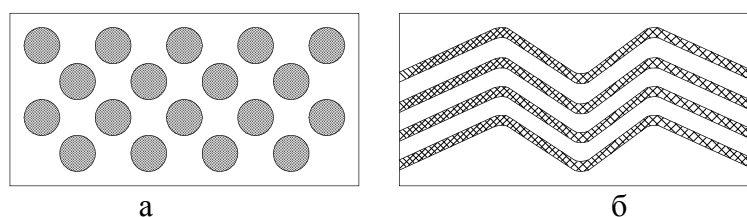


Рисунок 1 - Разновидности дискретных покрытий:  
а – островковые; б – линейные

За счёт высокой температуры и энергии разряда возникает перенос легирующего материала с электрода на катод и резкое его остывание, что приводит к появлению на островках и линиях, а также на поверхности изделия (матрице) каверн (углублений).

При шлифовании изделия выполняют срезание приращённой части дискретных покрытий, имеющих макро- и микродефекты, и их поверхность нивелируется относительно поверхности изделия либо срезается внешний слой изделия, что практически исключает возможность появления концентраторов напряжений и уменьшает шероховатость поверхности.

Экспериментальные исследования и производственные испытания показали, что предложенный способ формирования износостойких поверхностей металлических изделий в полной мере исключает недостатки применяемых в настоящее время упроч-

няющих способов и способов нанесения износостойких покрытий, и к тому же не понижает усталостную прочность изделия [8]. Несмотря на недостаточную изученность явлений, происходящих на поверхности дискретной структуры и отсутствие расчётных методов её конструирования, практическое преимущество очевидно.

Согласно выполненному анализу литературных источников, в настоящее время в качестве основных материалов для изготовления коленчатых валов двигателей транспортных средств используются в большинстве случаев сталь и чугун. Это обусловлено тем, что выбор материала коленвала зависит от типа двигателя и условий его работы [9].

В связи с этим для проведения исследований по определению влияния дискретного упрочнения на физико-механические и триботехнические характеристики материала коленчатого вала была выбрана сталь 42ХМФА по ГОСТ 4543-88. Выбор стали 42ХМФА обусловлен тем, что она используется при изготовлении коленчатых валов двигателей семейства КамАЗ, широко применяемых в народном хозяйстве Украины.

Для коленчатых валов, изготовленных из этой стали, в качестве стандартной упрочняющей технологии для коренных и шатунных шеек рекомендуется применять закалку ТВЧ или азотирование. Однако, как правило, используется химико-термическая обработка - азотирование. Для осуществления процесса азотирования (согласно технологии) коленчатый вал необходимо подвергнуть дополнительной термической обработке по схеме (рис. 2), что существенно удлиняет процесс упрочнения.

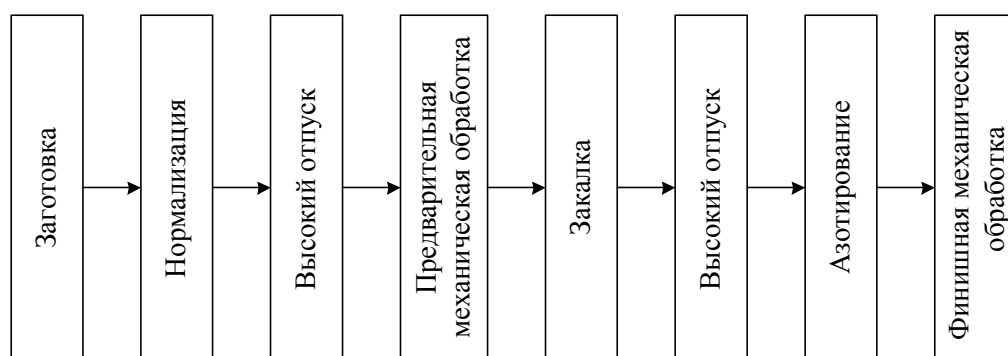


Рисунок 2 - Схема технологического процесса изготовления азотированных коленчатых валов

Для анализа влияния величины тока разряда  $I_p$  и дискретности  $\varphi$  на физико-механические и триботехнические свойства стали 42ХМФА, упрочнённой с использованием электрода из стали 08Х18Н10Т толщиной ( $S = 1$  мм) был проведен комплекс исследований.

В результате их проведения установлено, что величина тока разряда  $I_p$  оказывает существенное влияние на значение микротвёрдости материала для упрочнённой зоны. Это объясняется наличием высокой температуры в зоне разряда, которая оказывает влияние на характер протекания процесса упрочнения. При этом металлографический анализ зоны упрочнения позволяет установить, что чем больше величина тока разряда, тем глубже упрочнённая (легированная) зона ( $h$ ). Однако после значительного роста глубины упрочнённого слоя наблюдается резкое его замедление, а затем остановка. Это можно объяснить теорией растворимости материала электрода в основе детали.

Попытки увеличить глубину упрочнённого слоя за счёт повышения величины тока разряда от  $I_p = 80$  А и выше к положительному результату не привели, так как при этом появляются дефекты (трещины) в упрочнённой зоне и увеличивается эрозия обработанной поверхности детали (табл. 1). Кроме того, было установлено, что проведение дискретного упрочнения при величине тока разряда  $I_p = 60-70$  А обеспечивается сохранение стабильности механических свойств упрочнённых зон детали.

Влияние величины тока разряда на глубину упрочнённого (легированного) слоя и микротвёрдости

№ эксперимента	$I_p$ , А	$h$ , мм	МПа	Наличие дефектов в упрочнённой зоне
1	10	0,005	-	нет
2	20	0,01	-	нет
3	30	0,013	580	нет
4	40	0,16	630	нет
5	50	0,29	780	нет
6	60	0,40	990	нет
7	70	0,41	1000	нет
8	80	0,47	1150	есть
9	90	0,47	1300	есть
10	100	0,48	1500	есть

Исследование влияния величины дискретности  $\varphi$  на коэффициент трения  $f$  показало, что оно имеет оптимальные величины. Дискретное упрочнение образцов проводили, используя ток разряда  $I_p = 60-70$  А и толщине электрода  $S = 1$  мм, изменяя при этом дискретность в пределах  $\varphi = 0 - 100$  % (через 20 %). Окончательной механической обработкой поверхности во всех случаях была полировка. Результаты исследований приведены на рис. 3.

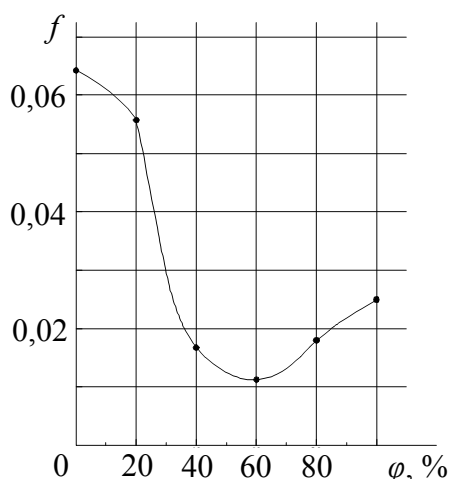


Рисунок 3 - Зависимость коэффициента трения  $f$  от величины дискретности  $\varphi$

Согласно полученным данным установлено, что величина дискретности существенно влияет на коэффициент трения. Вместе с тем, дискретность имеет оптимальные значения  $\varphi = 50-70$  %, и увеличение дискретности не всегда ведёт к снижению коэффициента трения.

Исходя из вышеизложенного, можно констатировать, что величина дискретности влияет на коэффициент трения, а значит и на износостойкость материала.

Для проведения исследований влияния дискретного упрочнения на триботехнические характеристики коленчатых валов, изготовленных из стали 42ХМФА, с целью определения его эффективности были испытаны три серии образцов:

- 1 серия - изготовлена по стандартной технологии азотированных коленчатых валов автомобиля КамАЗ;
- 2 серия - изготовлена по технологии первой серии до операций закалка, высокий отпуск, азотирование. Вместо этих операций было выполнено дискретное упрочнение и

произведена финишная обработка до номинального размера. После дискретного упрочнения была получена твердость в пределах 625 HV и глубина легированного (упрочненного) слоя в пределах 270-410 мкм;

– 3 серия - изготовлена по технологии второй серии, а финишная обработка произведена с занижением упрочненного слоя на 8-10 мкм на диаметр с целью определения свойств упрочнённого материала в пределах допустимого износа коренных и шатунных шеек коленчатых валов (22 мкм).

Целью исследования было установить зависимости коэффициента трения для испытуемого материала от нагрузки при ступенчатом нагружении в диапазоне нагрузок 0,2-2,0 кН, средние значения коэффициентов трения при различных нагрузках, а также износостойкость и изнашивающую способность материала образцов после дискретного упрочнения при общей нагрузке 1,0 кН (нагрузка соответствующая оптимальной нагрузке в двигателе).

Установлено, что значения коэффициентов трения для материалов образцов с дискретным упрочнением и материалов контрольных образцов при различных нагрузках отличаются не значительно. При этом увеличение нагрузки приводит к существенному снижению коэффициентов трения у образцов с дискретным упрочнением, образцы упрочненные способом азотирования этой тенденции не имеют. Кроме того, образцы серии 3 с увеличенной толщиной снятого упрочнённого слоя (8-10 мкм) имеют значения коэффициента трения сопряжения ниже, чем у образцов серии 1 и 2 (рис. 4).

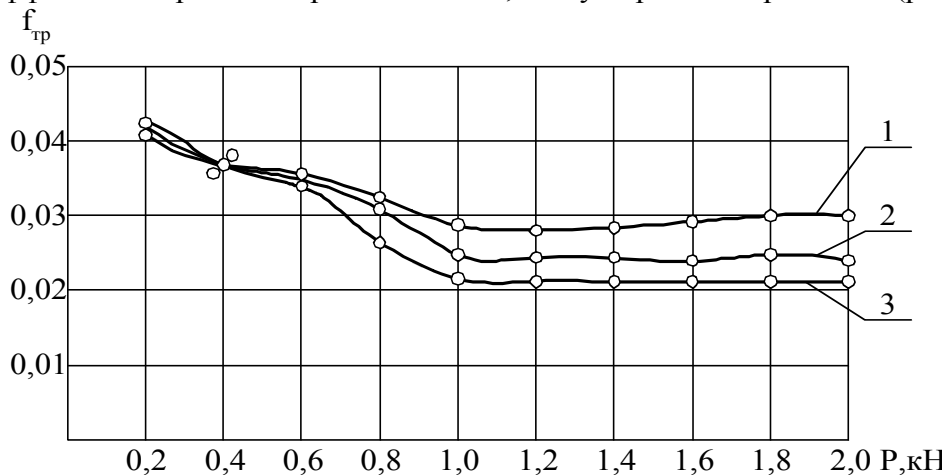


Рисунок 4 - Зависимость изменения коэффициента трения для исследуемых образцов от нагрузки:

1 – образцы первой серии; 2 – образцы второй серии; 3 – образцы третьей серии

Результаты испытаний по определению износостойкости и изнашивающей способности, образцов с дискретным упрочнением приведены в табл. 2. Согласно полученным результатам установлено существенное в 1,5 - 3,5 раза повышение износостойкости поверхностей образцов с дискретным упрочнением.

Таблица 2

Результаты испытаний на износостойкость

№ серии	Способ упрочнения образцов	Толщина снятого слоя, мм	Износ, г		Соотношение износов	
			ролика	колодочки	роликов	колодочек
1	азотирование	0	0,0147	0,0084	3,5	2,6
2	нормализация + дискр. упр.	0	0,0089	0,0068	2	2,1
3	нормализация + дискр. упр.	-0,08	0,0042	0,0032	1	1

### **Выводы**

1. Результаты производственных испытаний подтвердили, что оптимальными параметрами дискретного упрочнения для материала коленчатых валов (сталь 42ХМФА) являются: сила тока разряда  $I_p = 60-70$  А, толщина электрода (сталь 08Х18Н10Т)  $S = 1$  мм и величина дискретности 50-70 %.

2. Дискретное упрочнение стальных коленчатых валов по предлагаемой технологии повышает износостойкость в 1,5-3,5 раза по сравнению с деталями обработанными по стандартной технологии.

3. Установлена зависимость между величиной дискретности ( $\varphi$ , %) поверхности и коэффициентом трения упрочненного материала детали. Причём, с уменьшением или с увеличением величины дискретности от оптимального значения ( $\varphi = 50-70$  %) происходит увеличение коэффициента трения от минимального значения ( $f = 0,012$ ).

4. Дискретное упрочнение обеспечивает снижение трудоёмкости работ по упрочнению стальных деталей по сравнению с химико-термической обработкой за счёт исключения длительных стандартных операций при азотировании.

Литература: 1. Ройх И.Л., Колтунов Л.И., Соломонов С.А. Комбинированное вакуумно-гальваническое хромовое покрытие на алюминиевых сплавах // Твердые износостойкие гальванические покрытия. - М.: Машиностроение. - 1982. - С. 65-68. 2. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А. Электроискровое легирование металлических поверхностей. - К.: Наукова думка, 1976. - 219 с. 3. Сычев В.С., Верхотуров А.Д. Особенности эрозии и переноса материала катода на анод при электроискровом легировании // Электронная обработка материалов. - К.: Наукова думка. - 1974. - С. 3-16. 4. Лазоренко Н.И. Электроискровое легирование металлических поверхностей. - М.: Машиностроение, 1976. - 292 с. 5. Верхотуров А.Д. Технология электроискрового легирования металлических поверхностей. - К.: Техника, 1982. - 181 с. 6. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А. О некоторых закономерностях формирования упрочненного слоя при электроискровом легировании железа и стали переходными металлами. В сб.: Защитные покрытия в металлах, вып. № 8 - К.: Наукова думка, 1974, с. 21-23. 7. Спосіб формування зносостійкої поверхні металевих виробів. Патент на винахід № 79336 Україна, МПК Е 21 Д 21/00, В 23 Н 9/00/ В.Г. Гончаров, О.П. Клімова (Україна), - № 200505863; Заявлено 14.06.05, Опубл. 17.10.05. Бюл. № 10 - 17 с. 8. Гончаров В.Г., Савченков Б.В., Александров Н.Г. Дискретные покрытия - эффективный способ упрочнения деталей автомобилей. Сб. науч. раб. - Варна: Изд. ТУ - Варна, 2003. - С. 282 - 289. 9. Бажинов А.В., Прогнозирование остаточного ресурса автомобильного двигателя. - Харьков.: ХГАДТУ, 2001. - 96 с.

Савченков Б.В., Гончаров В.Г., Леоненко О.М.

#### **ДИСКРЕТНА ОБРОБКА – ЕФЕКТИВНИЙ СПОСІБ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

В статті наводяться результати досліджень зміни фізико-механічних та трибологічних характеристик матеріалу колінчастого валу двигуна КамАЗ після дискретної обробки робочої поверхні електроіскровим легуванням.

Savchenkov B.V., Goncharov V.G., Leonenko O.M.

#### **DISCRETE TREATMENT IS EFFECTIVE METHOD OF STRENGTHENING DETAILS OF VEHICLE**

In article have been presented results over of researches are brought changes the physical, mechanical and tribological characteristics of the material of crankshaft of KamAZ engine after discrete treatment of working surface an electro-spark alloying.