

УДК 621.793.7

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОНАСОСОВ

Г.С. САМОК, канд. техн. наук, Г.С. КОРОЛЬКОВА, инж.

Рассмотрены вопросы упрочнения деталей электронасосов способом комбинированного упрочнения, состоящего в нанесении покрытия из хрома с ультраалмазами или металлизированного покрытия, последующих процессах алмазного выглаживания и импульсной магнитной обработки. Приведены результаты исследований механических свойств упрочненных поверхностей деталей.

Ключевые слова: электронасосы, упрочнение, покрытия, ультраалмазы, выглаживание, импульсная магнитная обработка.

INFLUENCE OF STRENGTHENING TREATMENT METHOD ON SURFACE LAYER QUALITY OF ELECTRIC PUMPS ELEMENTS

G.S. SAMOK, Candidate of Engineering, G.S. KOROLKOVA, Engineer

The article is devoted to the problems of strengthening the electric pumps elements with combined strengthening, when chrome covering with ultra-diamond or metalized covering are added, and then the following processes of diamond burnishing and pulse-magnetic treatment are carried out. The authors give the research results of strengthened surfaces mechanical properties of the elements.

Key words: electric pumps, strengthening, covering, ultra-diamonds, burnishing, impulse magnetic treatment.

Повышение качества изготовления агрегатов электронасосных центробежных скважинных для воды имеет важное народно-хозяйственное значение. Агрегат состоит из центробежного насоса и нагруженного электродвигателя. Электродвигатели с высокими эксплуатационными характеристиками обеспечивают бесперебойную и эффективную работу электронасосов.

В большинстве случаев электродвигатели и насосы выходят из строя вследствие износа нагруженных деталей (валов, втулок и т.д.), вследствие их контакта с резинометаллическими подшипниками и жидкостью, проходящей через элементы электронасоса. При этом у электродвигателей разрушается только рабочая поверхность деталей (втулки, валы), которая контактирует с подшипниками и с жидкой массой. В основном эти детали изготавливают из дорогостоящих сталей – 40X13 и 12X18H10T. Качество поверхности из этих сталей уже нельзя существенно увеличить за счет легирования или термической обработки. Поэтому дальнейшее улучшение качества рабочих поверхностей деталей агрегатов возможно только за счет замены марок сталей 12X18H10T и 40X13 на другую сталь, например сталь 45, более дешевую, а также за счет применения многокомпонентных покрытий.

Технология упрочнения деталей алмазным выглаживанием включает следующие этапы:

– токарная обработка (точение) на станке типа ИЖ 250 ИТВМФ1 при режимах [1] $n = 800$ об/мин, $S = 0,15$ мм/об;

– алмазное выглаживание при режимах $n = 200$ об/мин, $S = 0,015$ мм/об, сила выглаживания – 200 Н для неупрочненных деталей и 300 Н

для деталей, упрочненных термообработкой (ТО) или нанесением гальванопокрытия из хрома с ультраалмазами (УА) и металлизированного покрытия из хрома.

Для упрочнения деталей импульсной магнитной обработкой использовалась установка, изготовленная в Ивановском государственном энергетическом университете [2].

Технология упрочнения импульсной магнитной обработкой включает следующие этапы:

– размещение внутри соленоида соосно нескольких втулок, например: 4 втулки диаметром 40 мм в соленоиде с внутренним отверстием диаметром 40 мм;

– обработка втулок импульсным магнитным полем напряженностью 800 кА/м (количество импульсов – 3, длительность импульса – 0,1 с, промежутки времени между импульсами – 1 с).

Для реализации технологии получения хромированных покрытий использовалось специальное оборудование (рис. 1), включающее ванну хромирования 1, резервуар 2, циркуляционный насос 3, фильтры 4, 5 и трубопроводы [3].

Ванна 1 хромирования представляет собой емкость диаметром, достаточным для размещения существующего ныне кольцевого анода с зазором 10–15 см между стенкой ванны и тыльной стороной анода. В нижней части ванны размещено распределительное устройство кольцевого типа для подачи электролита в межэлектродное пространство. В верхней части ванны расположен штуцер для отбора электролита (или переливное отверстие).

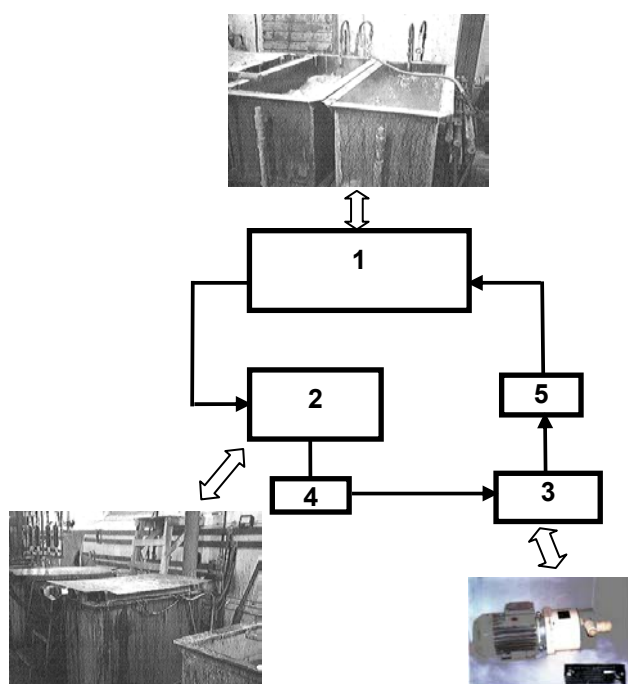


Рис. 1. Блок – схема узла хромирования деталей: 1– ванна хромирования; 2 – резервуар; 3 – циркуляционный насос; 4 и 5 – фильтры

Резервуар 2 представляет собой закрытую теплоизолированную емкость, в которую введены нагревательный и охлаждающий змеевики, штуцера и распределительные устройства для ввода и вывода электролита, термодатчик. Резервуар снабжен люком для отбора проб и загрузки химикатов при корректировке раствора.

Циркуляционный насос 3 в коррозионно-стойком исполнении производительностью ~ 8 м³/ч обеспечивает принудительную подачу электролита в ванну хромирования. Фильтрующие элементы обеспечивают очистку электролита от шлама (дендриты хрома, чешуйки хрома свинца с анодов и т.п.) и защиту насоса от грубых частиц. Ультраалмазы свободно проходят через фильтры 5–40 мкм, при этом дополнительно разрушаются агрегаты частиц, например, после перерыва в работе ванны.

Технические характеристики ультраалмазов:

- размер частиц – 4–8 нм (первичные микрористаллиты 20–30 нм – первичные агрегаты);
- удельная поверхность – 300 + 30 м²/г;
- фазовый состав:
 - кубический алмаз – 80–100 %;
 - алмазоподобный рентгеноаморфный углерод – до 20 %;
- содержание примесей – не более 3,0 %.

Технология нанесения гальванопокрытия включает следующие этапы:

1) подготовка деталей к нанесению гальванопокрытия (детали (штулки разного диаметра) из стали 45 обрабатывались сначала на токарном станке, а потом на шлифовальном станке в

целях получения величины шероховатости Ra не более 0,600 мкм);

2) приготовление электролита (объем электролита $V = V_1 + V_2$, где V_1 – рабочий объем ванны хромирования (~ 1 м³); V_2 – рабочий объем резервуара 2 (~ 0,5 м³); загрузка компонентов (CrO₃, ультраалмазы, H₂SO₄) – в любую из емкостей 1, 2);

3) нагрев и термостатирование электролита (нагрев до температуры $T = 50$ °С проводился в резервуаре 2 путем подачи горячей воды в змеевик при одновременной циркуляции раствора);

4) нанесение гальванопокрытия из хрома с ультраалмазами (в ванну 1 загружались детали (штулки) партиями от 10 до 40 штук и вынимались через 45 мин. Толщина полученного покрытия составила 20 мкм).

Потребление ультраалмазов при хромировании составляет 10–15 кг на 1 м³ электролита, что обеспечивает получение 25–50 тыс. м² высококачественных покрытий. Расход ультраалмазов на 1 м² покрытия (при толщине 1 мкм) не превышает 1 карата (0,2 г).

Анализ фотографий разреза гальванопокрытия из хрома с ультраалмазами после точения и после алмазного выглаживания (рис. 2) показывает, что после алмазного выглаживания толщина покрытия уменьшается (уплотняется), а под слоем покрытия образуется дополнительный упрочненный слой металла детали.

Металлизация распылением является одним из способов нанесения покрытий. Принцип этого метода упрочнения основан на непрерывном плавлении металла в виде проволоки или порошков при помощи металлизационных аппаратов и распылении его на специально подготовленную поверхность. Источником плавления материалов в современных металлизационных аппаратах служит электрическая дуга.

Явления, которые происходят при образовании металлизационных покрытий, вследствие многообразия факторов, влияющих на металлизацию, имеют сложный характер. Мельчайшие частицы расплавленного металла или сплава увлекаются воздушной струей со скоростью до 200 м/с. Вследствие большой скорости полета, эти частицы достигают поверхности покрываемой детали в жидком или пластическом состоянии. Попадая на металлизированную поверхность, частицы деформируются и принимают форму чешуек, которые нагромождаются друг на друга, образуют покрытие слоистого строения.

При металлизации сцепление частиц с основанием и друг с другом происходит вследствие шероховатости поверхности основания и под действием молекулярных сил. Прочность сцепления покрытий металлизации меньше, чем у других покрытий. Однако при надлежащих условиях сцепление частиц оказывается достаточным, чтобы прочно удерживать напыленный слой на основном металле.

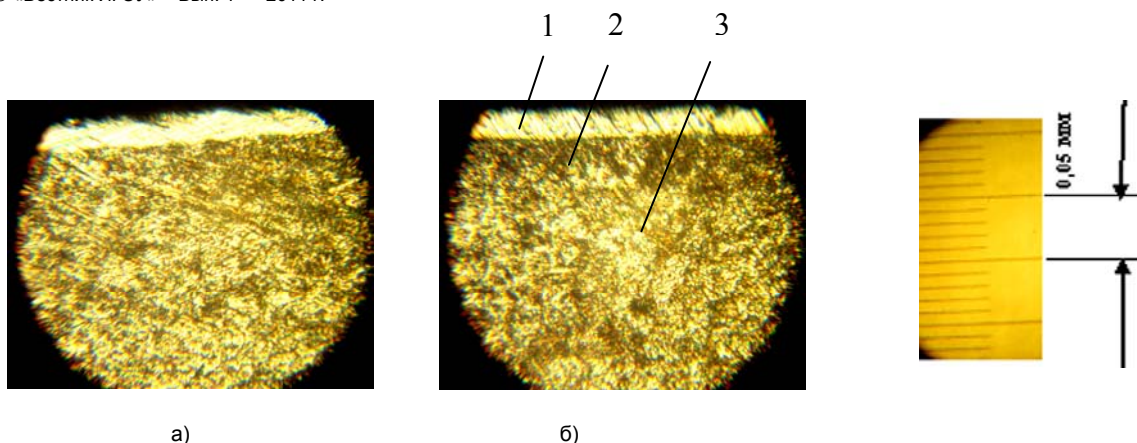


Рис. 2. Фотографии разреза гальванопокрытия из хрома с ультраалмазами: а – после точения; б – после алмазного выглаживания; 1 – гальванопокрытие; 2 – упрочненный слой; 3 – основной металл детали

Технология нанесения металлизированного покрытия осуществлялась с применением электродугового металлизатора ЭДМ-5М, токарного станка и сварочного выпрямителя типа ВДУ-600 [4]. В качестве наплавочного материала использовалась порошковая проволока диаметром 2 мм марки 40Х13. В целях обеспечения прочности сцепления напылительного материала с поверхностью детали на последней нарезалась «рваная» резьба глубиной 1 мм и с шагом 1,5 мм с последующей струйно-коррундовой обработкой до получения сплошного матового состояния поверхности. После этого осуществлялось нанесение покрытия на металлизаторе ДМ-5М (рис. 3).



Рис. 3. Металлизатор ДМ-5М

Поскольку в процессе металлизации имеют место плавление и диспергирование металла, а образование покрытия происходит путем следующих друг за другом ударов частиц с сильным их деформированием, строение напыленных покрытий является весьма своеобразным. Летящие в металло-воздушной струе частицы металла в момент удара их о поверхность расплющиваются и их размеры в направлении, перпендикулярном к направлению полета, сильно увеличиваются, а в направлении, совпадающем с направлением полета, уменьшаются. В результате покрытие складывается как бы из чешуек, перекрывающих друг друга. Частицы располагаются в зависимости от микропрофиля металлируемой поверхности.

В покрытии имеется большое количество пор. Многие из этих пор являются сквозными, что обеспечивает проницаемость покрытия, но имеется также и значительное количество «тупиковых» пор, которые практически на проницаемость не влияют, а только создают понижение объемного веса покрытия. Степень пористости, как и другие характеристики покрытия, зависит от вида напыляемого металла, режима напыления и состояния поверхности металлируемой детали. Благодаря тому что частицы распыленного металла образуют как бы рыбью чешую и почти не имеют органической связи с основанием, сцепление слоя с деталью в направлении, нормальном к поверхности детали, не может быть значительным.

Сцепление слоя и детали в тангенциальном или аксиальном направлениях, наоборот, получается достаточно большим, так как в этом случае для сдвига покрытия необходимо преодолеть тормозящее действие заусенцев, впадин и выступов, имеющих на поверхности детали.

Металлизация выполнялась способом колебания металлизатора по всей длине детали. Частота колебаний – 20 колебаний в минуту, дистанция металлизации – 110–120 мм, ток – 230 А, частота вращения вала – 200 об/мин, скорость линейного перемещения металлизатора (подача) – 1 мм/об (0,2 м/мин).

Покрытие толщиной $\varnothing_{ном} + 1,0$ мм (припуск на обработку) наносилось за 2 прохода. Металлизированные поверхности деталей обрабатывались точением с последующим шлифованием или алмазным выглаживанием до номинального размера.

На рис. 4 представлены микрофотографии разреза поверхности покрытия после напыления, точения, шлифования и алмазного выглаживания.

Анализ микрофотографий продольного разреза поверхности покрытия (рис. 4) показывает, что поры в основном располагаются параллельно поверхности и после точения структура поверхностного слоя не изменяется (рис. 4, б). После шлифования ширина пор уменьшается незначительно (рис. 4, в), а после алмазного выглаживания поры в поверхностном слое уменьшаются значительно (рис. 4, г).

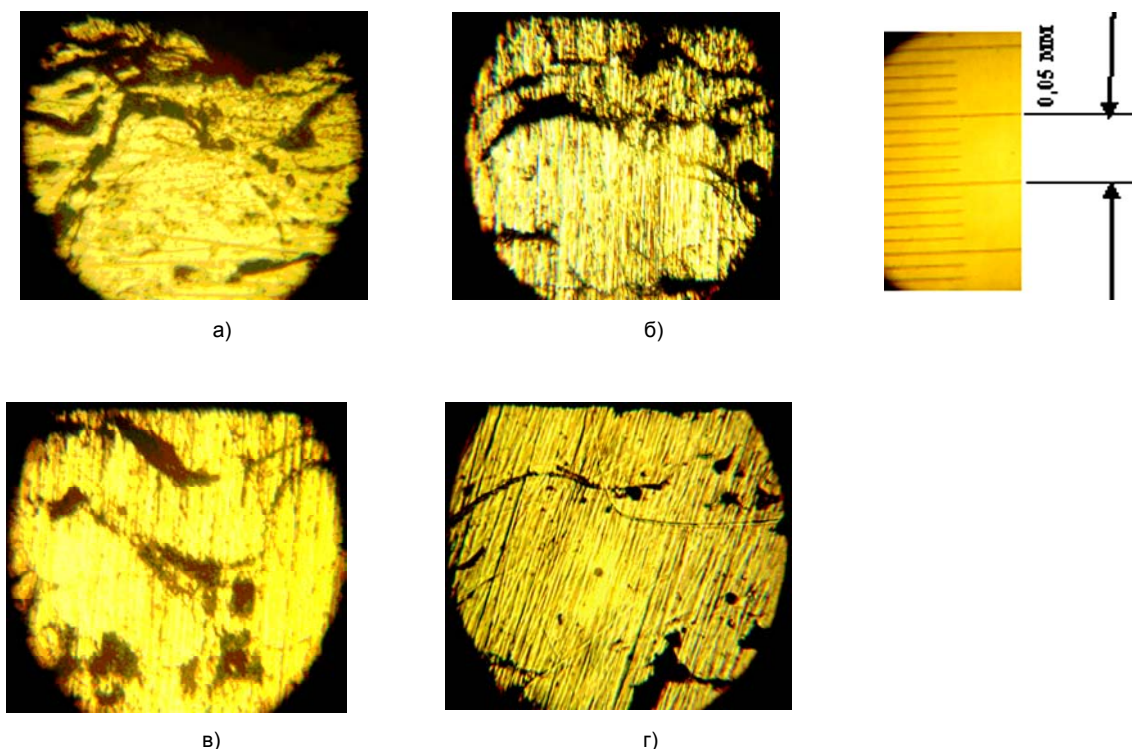


Рис. 4. Микрофотографии разреза поверхности покрытия: а – после напыления; б – точения; в – шлифования; г – алмазного выглаживания

Для измерений микротвердости РМ использовался прибор микротвердомер ПМТ-3 (ГОСТ 1156). Для уменьшения погрешности измерений была предложена следующая методика замера пирамидальных отпечатков. На приборе осуществлялось только нагружение индентора на поверхность образцов. Замер диагонали отпечатка осуществлялся по фотоснимкам, полученным микрофотографированием поверхности образцов на металлографическом микроскопе МИМ-8. Микротвердость HV измерялась для деталей из стали 45 (с покрытием и без покрытия).

После нанесения покрытия из хрома с ультраалмазами с последующими алмазным выглаживанием и импульсной магнитной обработкой твердость составила 1055 ед. HV, а после нанесения металлизированного покрытия – 1120 ед. HV.

На рис. 5 показаны гистограммы изменения микротвердости HV в зависимости от метода механической и упрочняющей обработки деталей из стали 45.

Анализ гистограммы (рис. 5) показывает изменение микротвердости стали 45 в зависимости от метода механической обработки. Максимальная твердость после термообработки, точения, алмазного выглаживания и импульсной магнитной обработки составляет 580 ед. HV.

После нанесения покрытия из хрома с ультраалмазами и с последующими алмазным выглаживанием и импульсной магнитной обработкой микротвердость составила 1055 ед. HV, а после нанесения металлизированного покрытия – 1120 ед. HV.

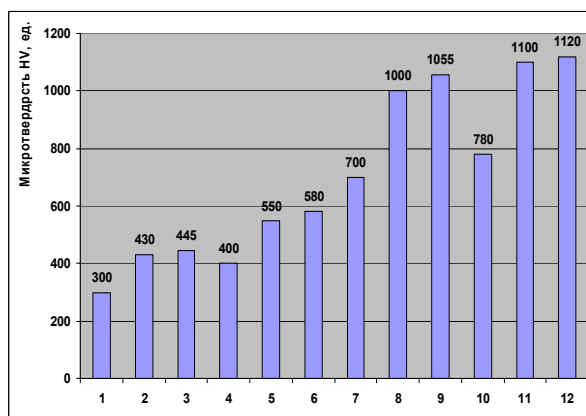


Рис. 5. Гистограмма изменения микротвердости HV в зависимости от метода механической обработки детали Ø40 мм из стали 45: 1 – точение без термической обработки; 2 – точение + алмазное выглаживание (АВ); 3 – точение + АВ + МИО; 4 – точение + термическая обработка (ТО); 5 – ТО + АВ; 6 – ТО + АВ + МИО; 7 – точение + ультраалмаз; (УА); 8 – УА + АВ; 9 – УА + АВ + МИО; 10 – точение + металлизированное покрытие; 11 – точение + металлизированное покрытие + АВ; 12 – точение + металлизированное покрытие + АВ + МИО

Проведение экспериментов по измерению микротвердости HV поверхности деталей из стали 45, упрочненных разными способами, позволило сделать следующие выводы:

- исходная микротвердость HV после точения без термической обработки для деталей из стали 45 составляет 300 ед. HV;
- обработка алмазным выглаживанием поверхностей деталей после точения увеличивает микротвердость до 430 ед. HV;

– величина микротвердости деталей из стали 45 после закалки составляет 400 ед. HV, а после алмазного выглаживания – 550 ед. HV;

– величина микротвердости для деталей из стали 45, имеющих гальваническое покрытие из хрома с ультраалмазами, составляет 700 ед. HV;

– величина микротвердости HV для деталей из стали 45 с гальванопокрытием и последующим алмазным выглаживанием составляет 1000 ед. HV;

– величина микротвердости HV для стали 45 с металлизированным покрытием после точения составляет 780 ед., после алмазного выглаживания покрытия – 1100 ед., а после импульсной магнитной обработки деталей с металлизированным покрытием – 1120 ед.

Из этого следует, что по показателю микротвердости HV наиболее предпочтительно применение деталей из стали 45 с металлизированным покрытием и последующими алмазным выглаживанием и импульсной магнитной обработкой.

Измерение шероховатости производилось на приборе профилометре-профилографе модели АБРИС-ПМ7, запись профилограмм производилась на ПЭВМ.

На рис. 6 показаны гистограммы изменения шероховатости Ra в зависимости от методов механической обработки и упрочнения для деталей из стали 45.

Анализ гистограмм (рис. 6) показывает, что величина шероховатости Ra после точения и шлифования и последующего алмазного выглаживания уменьшается с 0,902 до 0,305 мкм, а после покрытия хромом с ультраалмазами и последующего алмазного выглаживания – до 0,208 мкм.

Проведенные эксперименты по измерению величины шероховатости Ra поверхностей деталей из стали 45 позволили сделать следующие выводы [4]:

– исходная величина шероховатости Ra втулок из стали 45 после точения и шлифования примерно одинакова и составляет в среднем соответственно 0,799 и 0,590 мкм, а после алмазного выглаживания соответственно 0,649 и 0,305 мкм;

– исходная величина шероховатости Ra втулок из стали 45 с покрытием из хрома с ультраалмазами составляет 0,529 мкм, а после алмазного выглаживания – 0,218 мкм;

– исходная величина шероховатости Ra после точения металлизационного покрытия составляет 0,536 мкм, а после алмазного выглаживания – 0,300 мкм.

Из этого следует, что наименьшая исходная величина шероховатости Ra выявлена у

деталей из стали 45 после шлифования ($Ra = 0,590$ мкм) и у деталей из стали 45 с гальванопокрытием ($Ra = 0,529$ мкм).

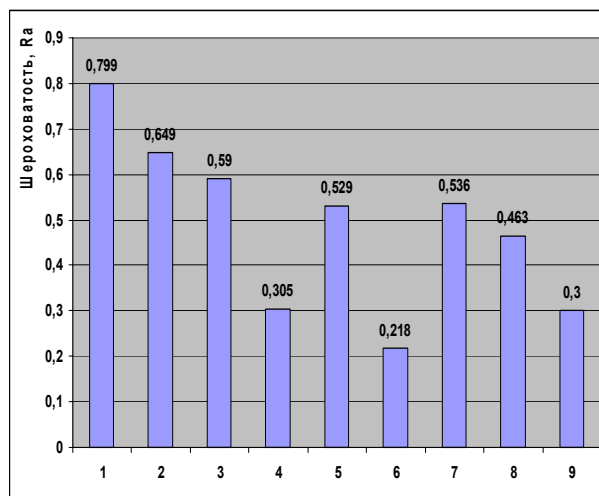


Рис. 6. Гистограмма изменения шероховатости Ra в зависимости от метода обработки для деталей из стали 45: 1 – точение; 2 – точение + алмазное выглаживание (АВ); 3 – шлифование; 4 – шлифование + АВ; 5 – покрытие с хромом и ультраалмазами (шлифование); 6 – покрытие с хромом и ультраалмазами (шлифование + АВ); 7 – металлизированное покрытие (точение); 8 – металлизированное покрытие (шлифование); 9 – металлизированное покрытие (точение + АВ)

После алмазного выглаживания величина шероховатости Ra у деталей из стали 45 составляет 0,305 мкм, с гальванопокрытием – 0,218 мкм, с металлизированным покрытием – 0,300 мкм. Это значит, что по показателю величины шероховатости Ra предпочтительнее обработка алмазным выглаживанием гальванопокрытия из хрома с ультраалмазами.

Список литературы

1. **Одинцов Л.Г.** Финишная обработка деталей алмазным выглаживанием и вибровыглаживанием. – М.: Машиностроение, 1981.
2. **Полетаев В.А., Басыров И.З., Самок Г.С.** Влияние импульсной магнитной обработки на физико-механические свойства углеродистой стали // Действие электромагнитных полей на пластичность и прочность материалов: мат-лы Международн. конф. – Воронеж: ВГТУ, 2003. – С. 134–136.
3. **Самок Г.С., Полетаев В.А.** Упрочнение поверхностей деталей электронасосов комбинированным способом // Прогрессивные технологии в машино- и приборостроении: сб. статей. – Нижний Новгород – Арзамас: НГТУ – АФНГТУ. – С. 121–124.
4. **Полетаев В.А., Самок Г.С., Королькова Г.С.** Исследование механических свойств деталей электронасосов, упрочненных комбинированным способом // Вестник ИГЭУ. – 2009. – Вып.3. – С. 22–25.

Самок Георгий Семенович,
ОАО «Бавленский завод «ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ»,
кандидат технических наук, генеральный директор,
телефон 8-492-453-15-66,
e-mail: info@bavlenu.ru

Королькова Галина Станиславовна,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»,
инженер кафедры технологии автоматизированного машиностроения,
телефон (4932) 26-97-73,
e-mail: stanislavnk.ru