

УДК 622.004.62:622.517

д.т.н. Бабанин А. Я.  
(ДонНАСА, г. Макеевка, ДНР),  
д.т.н. Белоусов В. В.  
(ДонНУ, г. Донецк, ДНР),  
д.т.н. Паламарчук Н. В.  
(ДонИЖТ, г. Донецк, ДНР),  
Петров П. А.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

### ПОВЫШЕНИЕ СРОКА СЛУЖБЫ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

*На основании результатов проведённых опытно-промышленных исследований применительно к условиям работы машиностроительных и ремонтно-механических заводов разработана технология ремонта центробежных водяных насосов, включающая изготовление рабочих колёс насосов с повышенными механическими свойствами, которая позволяет увеличить ресурс их работы на 15–20 % без значительных дополнительных материальных затрат. Промышленные испытания насосов проведены в условиях ОАО «Донцемент».*

**Ключевые слова:** центробежный водяной насос, техническая вода, рабочее колесо насоса, ресурс работы.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Вода является неотъемлемой частью современных технологических процессов практически всех отраслей промышленности (металлургии, машино- и автомобилестроения, лёгкой, строительной и т. д.). Отличительным параметром её применения является расход на единицу продукции. К примеру, значительное количество воды используется в технологическом цикле металлургических предприятий для охлаждения агрегатов, металла при обработке давлением, при закалке и т. д. В технологическом цикле цементной промышленности при производстве цемента мокрым способом осуществляется измельчение сырьевой смеси в водной среде и получение сырьевой массы в виде водной суспензии с содержанием 30–50 % воды.

В зависимости от специфики производства применяемая техническая вода содержит взвешенные вещества и твёрдые частицы, химические компоненты (железо, сульфаты и хлориды, фториды, аммиак, нитраты, нитриты, кремнекислоты, сво-

бодные углекислоты, растворённый кислород, сероводород), имеет определённую жёсткость и показатель активной реакции, которые в совокупности влияют на срок службы водяного насоса [1].

В настоящее время для обеспечения крупных промышленных предприятий водой наибольшее распространение получили центробежные горизонтальные многоступенчатые насосы двухстороннего входа (НДВ) и агрегаты на их основе.

Одним из главных недостатков насосов данного типа является склонность к кавитации, когда в процессе функционирования образуется разрыв жидкости в виде пузырей пара или воздуха, который в дальнейшем конденсируется. Вследствие этого возникают гидроудары, способствующие увеличению скорости износа конструктивных элементов насоса и трубопроводов [2, 3]. Чтобы не возникало кавитации, необходимо использовать самовсасывающий центробежный насос в щадящем режиме, т. е. снижать его производительность, что не всегда возможно в условиях промышленного производства.

Таким образом, в насосе наблюдается износ его элементов в результате абразивного действия твёрдых частиц, реакционного воздействия химических веществ и отрицательного действия кавитационного эффекта. Данные недостатки являются серьёзной проблемой водяных центробежных насосов, значительно снижающей их срок службы и производительность [4].

В литературных источниках встречаются работы по повышению срока службы центробежных насосов. В основном они направлены на изготовление насосов из материалов, имеющих более высокие механические свойства, что значительно повышает стоимость насоса [5].

В настоящее время в литературе, несмотря на наличие значительного количества экспериментальных данных, отсутствуют сведения о технологии ремонта насосов в условиях ремонтно-механических заводов с повышением их срока службы.

**Постановка задачи.** Задачей данной работы является разработка методом опыт-

но-промышленных исследований технологии ремонта водяных насосов, обеспечивающей повышение срока их службы за счёт увеличения износостойкости основных деталей.

**Изложение материала и его результаты.** Исследования по повышению срока службы насоса были проведены при эксплуатации центробежного горизонтального высоконапорного насоса двухстороннего входа марки 6НДВ в условиях насосной станции подачи технической воды из реки Крынка в сырьевой цех ОАО «Донцемент». Основные его технические характеристики представлены в таблице 1.

Данный насос предназначен для перекачивания воды и жидкостей, имеющих сходные с водой свойства по вязкости и химической активности, с температурой до 358 К (85 °С), содержанием твёрдых включений по массе не более 0,05 % с максимальным размером 0,2 мм и микротвёрдостью не более 1,46 ГПа (рис. 1).

Таблица 1

Основные технические характеристики центробежного водяного насоса марки 6НДВ

Типоразмер насоса (агрегата)	Диаметр рабочего колеса (подрезка), мм	Частота вращения, $\text{с}^{-1}$ (об/мин)	Подача, $\text{м}^3/\text{ч}$ ( $\text{м}^3/\text{с}$ )	Напор, м	Максимальная потребляемая мощность, кВт
6НДВ	405	24,2 (1450)	320 (0,09)	50	68

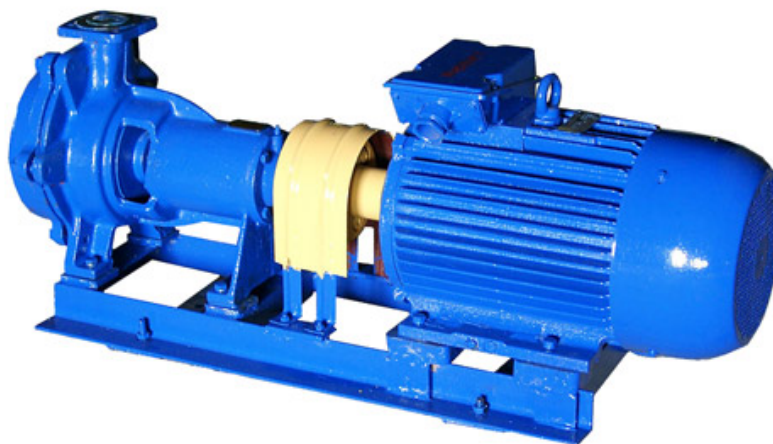


Рисунок 1 Общий вид центробежного горизонтального одноступенчатого насоса двухстороннего входа

Центробежные насосы данного типа являются самовсасывающими. В зависимости от сферы применения конструктивно вал может располагаться вертикально или горизонтально. Как правило, вертикальные модели используют для погружения в скважину.

Рабочий процесс насоса данного типа довольно простой: жидкость поступает во вращательный механизм, представляющий собой колесо с лопастями, и движется по

кругу согласно направлению вращения вала. При этом за счёт центробежной силы появляется кинетическая энергия, которая способствует росту давления транспортируемой жидкости. Центробежный насос может иметь различное количество рабочих колёс и, в зависимости от их конструкции, различное количество рабочих лопаток, причём чем их больше, тем выше его рабочее давление и производительность (рис. 2).

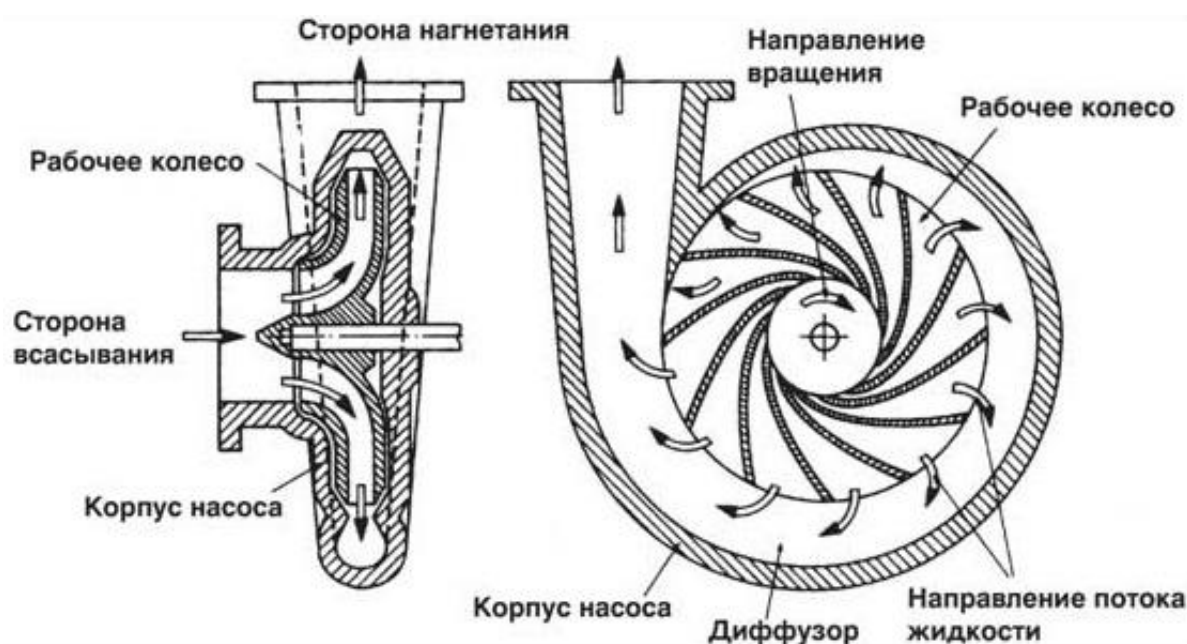


Рисунок 2 Схематическое изображение работы центробежного насоса

В результате анализа выхода из рабочего состояния деталей отработавших свой срок насосов установлено, что основным элементом, который определяет ресурс работы насоса, является рабочее колесо, которое, как правило, выходит из строя по причине износа лопастей при значительном уменьшении их толщины или полном истирании.

На основании исследований характера выхода из строя рабочих колёс данных насосов и их механических разрушений было установлено, что важнейшим резервом уменьшения их абразивного износа, сопровождающегося образованием микротрещин и проникающей коррозии, является формирование плотной макро- и микроструктуры литейного чугуна и

снижение его химической неоднородности, а следовательно, повышение механических свойств и качества отливок.

Изготовление рабочих колёс производили в условиях Моспинского ремонтно-механического завода (РМЗ), структурного подразделения (СП) ООО «Востокуглемаш» по разработанным авторами моделям и стержневым ящикам для отливки рабочих колёс насоса 6НДВ в соответствии с размерами, указанными на чертеже № 20-0-3 Амвросиевского цементного завода. Рабочее колесо данного насоса имеет восемь лопастей. Для его изготовления была разработана технология и выполнена отливка из литейного чугуна мар-

ки СЧ 15. Механическую обработку отливки выполняли по существующему технологическому процессу без проведения каких-либо дополнительных операций и применения специальной оснастки и резцов. Выплавку литейного чугуна осуществляли в дуговой печи марки ДСП-1,5 [6].

Известно, что процесс перехода расплава в равновесное состояние происходит при достижении его критической температуры, выдержка при которой является необходимым условием данной технологии отливки деталей. При охлаждении подготовленного таким образом расплава его равновесная структура или близкое к этому состояние сохраняется до кристаллизации, что обеспечивает повышение плотности его макро- и микроструктуры, а также механических и служебных свойств изделий [7, 8].

Следует отметить, что при существующих технологиях литейного производства кристаллизация чугуна происходит из неравновесного состояния, что сопровождается сохранением структуры, близкой к применяемой металлической шихте, значительной химической неоднородности расплава и отливки и, как следствие, сохранением механических свойств на существующем низком уровне.

Поэтому с целью получения равновесного, максимально однородного состояния расплава перед его кристаллизацией была разработана технология высокотемпературного шлакового рафинирования литейного чугуна при получении отливок рабочего колеса насоса.

При разработке данного технологического процесса были проведены теоретические исследования, на основании которых определены ориентировочные значения величины критической температуры высокотемпературной обработки литейного чугуна [9]. Достоверность полученных значений критической температуры и оптимальное время выдержки литейного чугуна были определены экспериментально.

Проведённые опытно-промышленные эксперименты позволили определить по-

ложительное влияние шлаковой смеси, изготовленной из отходов производства (молотый известняк ( $\text{CaCO}_3$ ) и коксик (С)), на структуру графита и возможность его перехода из пластинчатой формы в вермикулярную и частично шаровидную.

На основании полученных результатов разработан ВШР-процесс (высокотемпературное шлаковое рафинирование), включающий выплавку литейного чугуна соответствующей марки, нагрев расплава выше критической температуры, обработку рафинировочной шлаковой смесью ( $\text{CaCO}_3 + \text{C}$ ) при сливе в разливочный ковш и выдержку при критической температуре перед заливкой в формы.

Испытание ВШР-процесса с целью обработки оптимальных его режимов проводили при выплавке литейного чугуна в дуговой электропечи и вагранке, обработку шлаковой смесью и высокотемпературную выдержку — в разливочном ковше ёмкостью 700 кг [10]. Результаты опытно-промышленных плавок представлены в таблице 2.

Рафинировочную смесь изготавливали из отходов собственного производства  $\text{CaCO}_3$  и С фракцией 0,5–3,0 мм в процентном соотношении 40:60 соответственно. Присадку шлаковой смеси производили в разливочный ковш в процессе слива чугуна из печи при его заполнении на 1/3 высоты. После заполнения разливочного ковша осуществляли высокотемпературную выдержку чугуна при температуре и в течение времени, которые указаны в таблице 2. Отбор проб чугуна для исследований производили до (с желоба печи) и после (при заливке в формы) высокотемпературной обработки.

Результаты проведённых исследований свидетельствуют о том, что для данных условий производства отливок из литейного чугуна значительный прирост твёрдости (НВ 232 ед.) наблюдается при расходе шлаковой смеси 0,5–0,6 % от массы обрабатываемого металла, температуре 1480 °С и времени выдержки 20 мин.

Таблица 2

Результаты опытно-промышленных плавов по отработке литейного чугуна ВШР-процессом

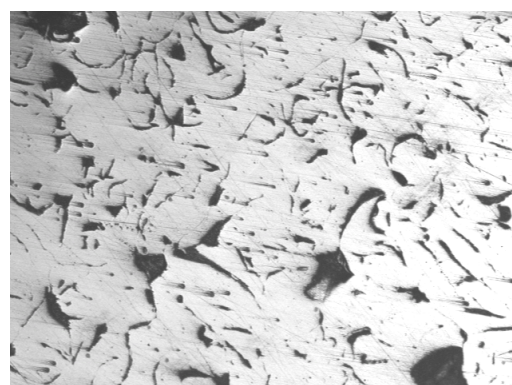
№	Химический состав чугуна (до обработки / после обработки), %					Высокотемпературная обработка		Расход шлаковой смеси, % к массе чугуна	Твёрдость НВ		
	C	Mn	Si	S	P	Температура, °C	Время, мин		до обработки	после обработки	прирост
1	$\frac{3,70}{3,70}$	$\frac{0,63}{0,48}$	$\frac{1,21}{1,17}$	$\frac{0,030}{0,030}$	$\frac{0,57}{0,54}$	1480	7	0,6	187	197	10
2	$\frac{3,58}{3,50}$	$\frac{0,31}{0,30}$	$\frac{1,42}{1,433}$	$\frac{0,079}{0,81}$	$\frac{0,57}{0,54}$	1370	7	0,6	217	285	68
3	$\frac{3,74}{3,72}$	$\frac{0,90}{0,87}$	$\frac{2,03}{2,03}$	$\frac{0,033}{0,033}$	$\frac{0,44}{0,41}$	1480	20	0,5	156	388	232

В результате металлографических исследований установлено, что в образцах опытного металла (рис. 3) графит имеет пластинчатую игольчатую (Гф 3) и верми-

кулярную извилистую (Гф 6) форму, а в сравнительном — пластинчатую завихрённую форму с очагами гнездообразной формы (Гф 6).



а



б

Рисунок 3 Характерное распределение включений графита в сравнительном (а) и опытном (б) образцах чугуна

Следовательно, образцы опытного металла имеют более плотную макро- и микроструктуру, включения графита более равномерно распределены по образцу и имеют меньшие размеры.

Изготовление рабочих колёс насоса 6НДВ проводили по разработанной технологии от получения отливки до готового изделия в условиях литейного и механического цеха ООО «Востокуглемаш» СП «Моспинский РМЗ». Ремонт насоса 6НДВ проводили в условиях ремонтно-механического цеха ОАО «Донецмент».

Контроль работы насосов 6НДВ после ремонта с рабочими колёсами, изготовленными по данной технологии, осуществляли в реальных промышленных условиях ОАО «Донецмент» в насосной станции, подающей техническую воду из реки Крынка в сырьевой цех комбината. Результаты контроля свидетельствуют о том, что после ремонта ресурс насоса 6НДВ увеличился с 86 до 103 суток непрерывной работы, что составляет 17,7 %.

#### Выводы.

Применительно к условиям работы ремонтно-механических заводов разработана технология ремонта центробежных водяных насосов марки 6НДВ с увеличением

ресурса их работы, включающая изготовление рабочих колёс насосов с повышенными механическими свойствами и обеспечивающая снижение износа рабочего колеса абразивными твёрдыми частицами в результате отрицательного влияния кавитационного эффекта.

В соответствии с реальными промышленными условиями разработана технология получения отливок рабочих колёс с применением процесса высокотемпературного шлакового рафинирования, определены оптимальные параметры её производства, температура расплава и количество присаживаемых материалов.

Разработанная технология ремонта позволяет повысить ресурс работы центробежных водяных насосов на 15–20 % без значительных дополнительных материальных затрат.

Следует отметить, что полученные положительные результаты относятся к рабочим колёсам, имеющим восемь лопастей при диаметре рабочего колеса 405 мм.

Поэтому целесообразно провести дальнейшие исследования для рабочих колёс других диаметров с различным количеством лопастей для оценки влияния угла взаимодействия потока жидкости с лопастью на интенсивность её износа.

#### Библиографический список

1. Крамаль, И. Л. Опыт эксплуатации импортных шламовых насосов в условиях ЮГОКа [Текст] / И. Л. Крамаль, В. Г. Просницкий // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. — 2001. — № 1. — С. 94–96.
2. Эксплуатация и ремонт оборудования на углеобогащательных фабриках [Текст] / А. И. Оконишников, В. Я. Запсельский. — М. : Недра, 1976. — 288 с.
3. Сорокин, Г. М. Инженерные критерии определения износостойкости сталей и сплавов при механическом изнашивании [Текст] / Г. М. Сорокин // *Вестник машиностроения*. — 2001. — № 11. — С. 57–59.
4. Иголкин, А. И. Износостойкая наплавка на внутренних поверхностях трубопроводов и ёмкостных аппаратов [Текст] / А. И. Иголкин, Ю. В. Зеленин // *Химическая и нефтегазовая промышленность*. — М., 2009. — № 4. — С. 46–48.
5. Сафонов, Б. П. Инженерная трибология : оценка износостойкости и ресурса трибосопряжений [Текст] : учебное пособие / Б. П. Сафонов, А. В. Бегова. — Новомосковск : РХТУ им. Менделеева, Новомосковский институт, 2004. — 65 с.
6. Григорян, В. А. Теоретические основы электросталеплавильных процессов [Текст] / В. А. Григорян, А. М. Белянчиков, А. Я. Стомахин. — М. : Металлургия, 1987. — 272 с.
7. Литъё под давлением [Текст] / М. Е. Беккер, М. А. Завлавский, Ю. Ф. Игнатенко и др. — М. : Машиностроение, 1990. — 400 с.



8. Баум, Б. А. Жидкая сталь [Текст] / Б. А. Баум. — М. : Металлургия, 1984. — 208 с.
9. Металлургические расплавы в прогрессивных технологиях [Текст] / Б. А. Баум, Г. В. Тягунов, Е. Е. Третьякова, В. С. Цепелев // Расплавы. — 1991. — № 3. — С. 16–31.
10. Высокотемпературное шлаковое рафинирование литейного чугуна (ВШР-процесс) [Текст] / А. Я. Бабанин, В. В. Паренчук, М. В. Четыркин и др. // Тепло-массообменные процессы в металлургических системах : материалы VI междунар. научно-техн. конф., посв. 70-летию Приазовского технического университета. — Мариуполь, 2000. — С. 218–221.

© Бабанин А. Я.  
 © Белоусов В. В.  
 © Паламарчук Н. В.  
 © Петров П. А.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницьким В. Н.,  
 д.т.н., проф., зав. каф. МОЗЧМ ДонНТУ Еронько С. П.*

*Статья поступила в редакцию 19.03.18.*

**д.т.н. Бабанін А. Я.** (ДонНАБА, м. Макіївка, ДНР), **д.т.н. Білоусов В. В.** (ДонНУ, м. Донецьк, ДНР), **д.т.н. Паламарчук М. В.** (ДонІЗТ, м. Донецьк, ДНР), **Петров П. О.** (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

#### **ПІДВИЩЕННЯ ТЕРМІНУ ДІЇ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ДЛЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ ВЕЛИКИХ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ**

*На підставі результатів проведених дослідно-промислових досліджень з урахуванням умов роботи машинобудівних і ремонтно-механічних заводів розроблено технологію ремонту відцентрових водяних насосів, що включає виготовлення робочих коліс насосів з підвищеними механічними властивостями. Розроблена технологія ремонту дозволяє підвищити ресурс роботи відцентрових водяних насосів на 15–20 % без значних додаткових матеріальних витрат. Промислові випробування насосів проведено в умовах ВАТ «Донцемент».*

**Ключові слова:** відцентровий водяний насос, технічна вода, робоче колесо насосу, ресурс роботи.

**Doctor of Tech. Sc. Babanin A. Ya.** (DonNABA, Makeyevka, DPR), **Doctor of Tech. Sc. Belousov V. V.** (DonNU, Donetsk, DPR), **Doctor of Tech. Sc. Palamarchuk N. V.** (DonIRT, Donetsk, DPR), **Petrov P. A.** (DonSTU, Alchevsk, LPR)

#### **INCREASING THE SERVICE LIFE OF CENTRIFUGAL PUMPS FOR WATER SUPPLYING AT LARGE INDUSTRIAL ENTERPRISES**

*Based on the results of trial researches held with regard to the operating conditions of machine-building and repair and machinery plants there has been developed the repair technology for centrifugal water pumps including manufacturing of pump impellers with the improved mechanical properties that allows 15–20 % increasing the operation life of centrifugal water pumps without large additional material inputs. The full-scale tests for pumps have been made at OJSC «Doncement».*

**Key words:** centrifugal water pump, industrial water, pump impeller, operation life.