

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРИМЕСЕЙ НА СТРУКТУРУ И НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА

Д. А. Негров, О. Ю. Бургонова, К. Н. Пантюхова, В. Ю. Путинцев

Омский государственный технический университет,
Россия, 644050, г. Омск, пр. Мира, 11

На сегодняшний день является актуальным внедрение новых конструкций шестеренных насосов с улучшенными техническими характеристиками, которые имеют как достоинства, так и недостатки: неравномерность подачи, сравнительно большие объемные потери, повышенный уровень шума при работе. Производительность и коэффициент полезного действия шестеренчатого насоса во многом определяется геометрией сопряжения деталей. Определение различных дефектов в шестернях, которые приводят к увеличению зазоров в сопряжениях, увеличению внутренних потерь рабочей жидкости, уменьшению производительности, является весьма актуальной задачей. Шестерни из стали 20X2H4A подвергались газовой цементации и термической обработке после нее. Для оценки качества термической обработки был проведен спектральный анализ, определены химический состав и ударная вязкость, исследована микроструктура, измерена твердость и микротвердость образцов.

Ключевые слова: шестеренный насос, структура стали, 20X2H4A, термическая обработка, влияние примесей, цементация.

Введение

За последние годы российские и зарубежные производители разрабатывают и выпускают новые конструкции шестеренных насосов для химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, которые отличаются улучшенными техническими характеристиками [1–3]. Шестеренные насосы, благодаря относительной простоте конструкции, небольшим габаритным размерам и массе, минимальной трудоемкости изготовления, легкости реверсирования, удобству обслуживания широко используются в нефтеперерабатывающих производствах. Их применение в этой отрасли промышленности обычно ограничено перекачиванием вязких жидкостей [4–6].

Однако шестеренные насосы обладают рядом существенных недостатков, к которым относятся: неравномерность подачи (пульсация), сравнительно большие объемные потери, обусловленные в основном утечками перекачиваемой жидкости через радиальные и торцевые зазоры между шестернями и корпусом насоса, повышенная шумность при работе [7–9]. Насосы, перекачивающие нефтепродукты, также достаточно часто подвергаются повреждениям шестерен в связи с неправильной их термообработкой, плохим качеством материала, перегревом, выработкой подшипников качения и т. д. [10–12].

Производительность и коэффициент полезного действия шестеренчатого насоса во многом определяется герметичностью сопряжений его деталей. Возникновение различных дефектов в шестернях насосов приводит к увеличению зазоров в их сопряжениях, увеличению внутренних потерь рабочей жидкости, уменьшению производительности, а также падает давление перекачиваемой жидкости. Поэтому определение природы возникновения различных дефектов в деталях шестеренных насосов является весьма актуальной задачей.

Объект исследований

Объектом исследований являются образцы из стали 20X2H4A, вырезанные из шестерен насоса с различным сроком эксплуатации (табл. 1).

Методы исследования

Шестерни из стали 20X2H4A подвергались газовой цементации в электрических печах СШЦМ-6.8/10 при температуре 930 °С в течение 8 ч. Карбюризатор — эндоатмосфера с добавкой природного газа. Закалка в масле с температуры цементационного нагрева, с подстуживанием до 2 мин.

Термическая обработка после цементации включала высокий отпуск при температуре 620 °С с выдержкой в течение 2 ч, закалку в масле от 810 °С с выдержкой 40 мин и низкий отпуск при температуре 180 °С с выдержкой в течение 2 ч. Для нагрева под отпуск использовалась камерная печь НКО 6.12.5/7.

Микроструктуру исследовали на микроскопе ST-VS-340 ЕС при различном увеличении.

Химический состав стали определялся на приборе для экспресс-анализа химического состава ДФС-500. Твердость измерялась по методу Роквелла по шкале С алмазным конусом при нагрузке 150 кг на приборе ТК-2М в соответствии с ГОСТ 9013–59.

Таблица 1. Срок эксплуатации образцов
Table 1. Lifetime of samples

Номер образца		Срок эксплуатации, ч
1		7000
2	ведущая шестерня	9000
3		не эксплуатировался
4		1200

Таблица 2. Химический состав образцов
Table 2. Chemical composition of samples

Условный номер детали	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	Ni	Cr	S	P	Ti
ГОСТ 4543-71 на сталь 20Х2Н4А	0,16–0,22	0,17–0,37	0,30–0,6	3,25–3,65	1,25–1,65	не более 0,025	не более 0,025	не более 0,03 %
1	0,22	0,18	0,46	3,20	1,50	0,025	0,024	0,05
2	0,22	0,19	0,50	3,40	1,48	0,025	0,023	0,05
3	0,22	0,21	0,49	3,30	1,48	0,025	0,022	0,06
4	0,21	0,3	0,54	3,35	1,55	0,018	0,017	нет

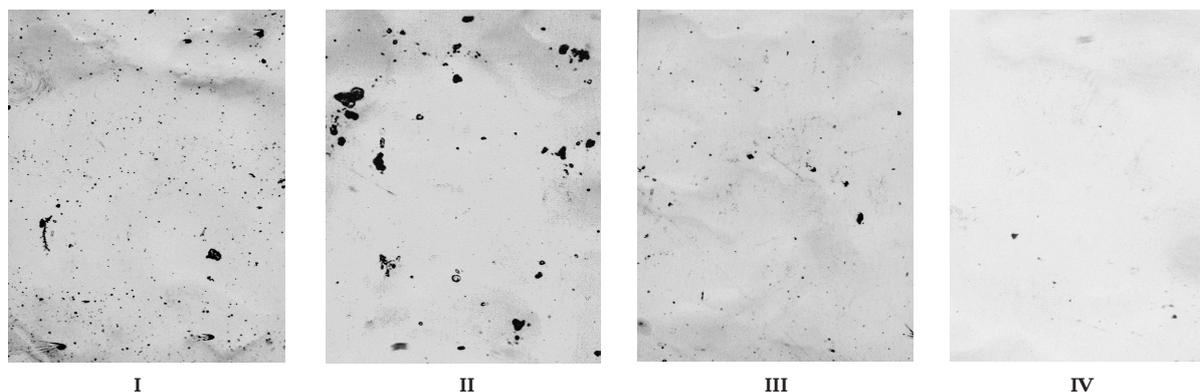


Рис. 1. Неметаллические включения
I — образца № 1, II — образца № 2, III — образца № 3, IV — образца № 4 ($\times 600$)
Fig. 1. Nonmetallic inclusions
of I — sample No. 1, II — specimen no. 2, III — sample no. 3, IV — sample no. 4 ($\times 600$)

Результаты и обсуждение

Исследование качества металла проводилось путем определения химического состава и чистоты металла по неметаллическим включениям. Химический состав по данным спектрального и химического анализа представлен в табл. 2.

По содержанию основных элементов все образцы соответствуют ГОСТу 4543-71. Металл образцов 1–3 имеет несколько повышенное, чем у образца 4, содержание фосфора.

Исследование чистоты сплава определялось согласно ГОСТ 1778-70. Как видно из рис. 1, чистота образцов деталей 1–3 резко отличается от чистоты образца детали 4. В материале первых трех деталей наблюдается значительное количество мелких неметаллических включений, загрязненность металла может быть оценена баллом 5 и выше. Загрязненность металла детали 4 соответствует баллу 2.

По данным спектрального анализа в образцах 1–3 было выявлено повышенное содержание титана. Неметаллические включения, содержащиеся в образцах 1–3, можно отнести к силикатам, сульфидам и карбидам титана. Таким образом, по загрязненности металла вредными примесями и неметаллическими включениями металл деталей 1–3 хуже, чем металл детали 4, и не соответствует ГОСТ 4543-71 на высококачественную сталь.

Качество термической обработки оценивалось по следующим параметрам:

- 1) твердости, глубине насыщения и структуре цементованного слоя;
- 2) твердости и структуре сердцевины;
- 3) равномерности глубины цементованного слоя по контуру зуба;

4) наличию остаточных растягивающих напряжений по растравляемости в горячем пятидесятипроцентном растворе соляной кислоты;

5) ударной вязкости (на образцах, вырезанных из венца).

Металлографический анализ структуры сердцевины и цементованного слоя образцов (рис. 2–5) показал, что все исследованные детали имеют удовлетворительную структуру, соответствующую требованиям по карбидному насыщению, характеру залегания карбидов и остаточному аустениту (табл. 3). По шкале балльности для оценки количества остаточного аустенита в цементованном слое [13–14], структура соответствует 1А (содержание до 15 % остаточного аустенита).

Структура сердцевины всех исследованных деталей представляет собой мелкоигольчатый низкоотпущенный мартенсит, что также является удовлетворительным.

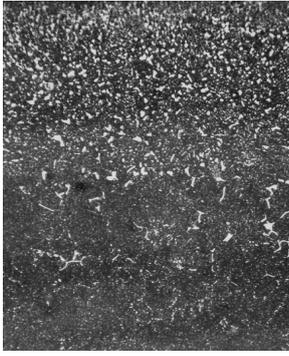
Результаты измерения твердости сердцевины и цементованной поверхности, а также глубины цементованного слоя приведены в табл. 3.

Распределение микротвердости цементованного слоя детали 1 приведены на рис. 6. Как видно из графика, микротвердость распределяется по глубине слоя равномерно, без скачков.

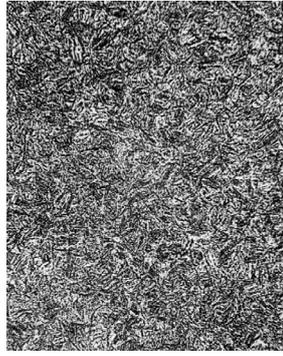
На рис. 7 приведены фотографии макрошлифов исследованных деталей. Глубина цементованного слоя на всех шестернях равномерная.

Резких подрезов цементованного слоя в результате шлифовки не наблюдается, при этом макро-структура деталей 1–3 более грубая, чем детали 4.

Результаты травления секторов деталей в пятидесятипроцентной горячей соляной кислоте приведены на рис. 8–11.



I



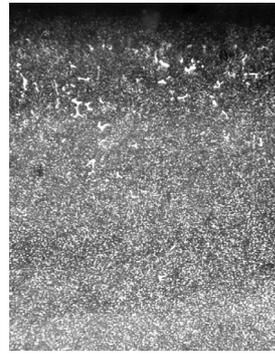
II

Рис. 2. Микроструктура шестерни блока шестерен (деталь 1):

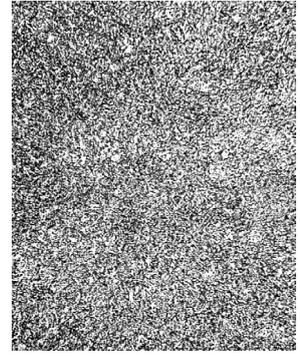
I — цементованного слоя на венце (×200);
II — сердцевины (×300)

Fig. 2. The microstructure of the gears of gear unit (detail 1):

I — cemented layer at the crown (×200); II — core (×300)



I



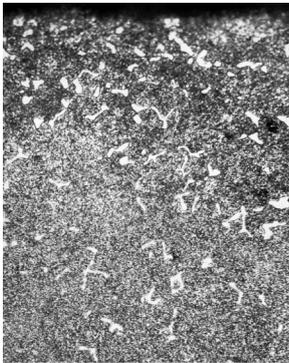
II

Рис. 3. Микроструктура ведущей шестерни (деталь 2):

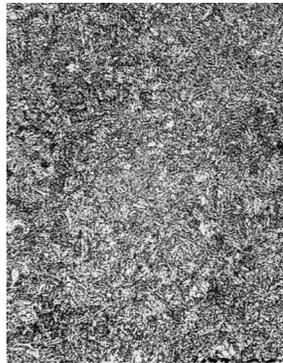
I — цементованного слоя на венце (×200);
II — сердцевины (×300)

Fig. 3. The microstructure of the gear (detail 2):

I — cemented layer at the crown (×200);
II — core (×300)



I



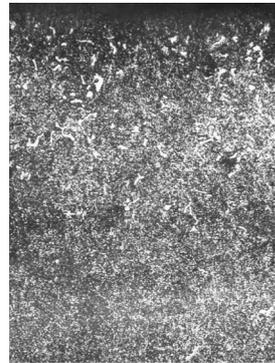
II

Рис. 4. Микроструктура ведущей шестерни (деталь 3):

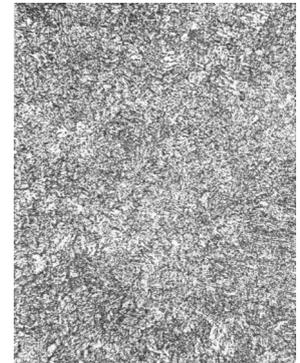
I — цементованного слоя на венце (×200);
II — сердцевины (×300)

Fig. 4. The microstructure of the drive gear (detail 3):

I — cemented layer on the crown (×200);
II — core (×300)



I



II

Рис. 5. Микроструктура ведущей шестерни (деталь 4):

I — цементованного слоя на венце (×200);
II — сердцевины (×300)

Fig. 5. The microstructure of the driving gear (detail 4):

I — cemented layer on the crown (×200);
II — core (×300)

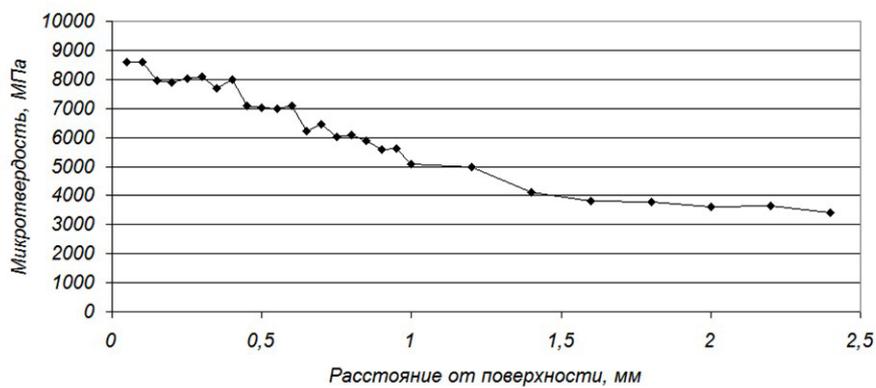
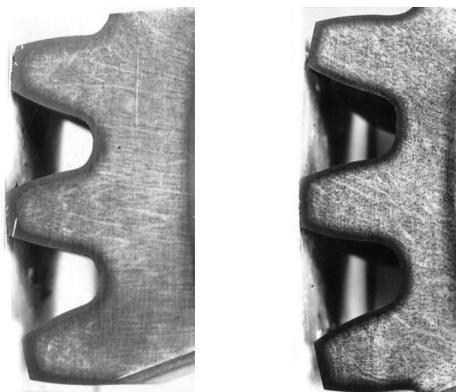


Рис. 6. Распределение микротвердости после цементации и последующей термообработки

Fig. 6. The distribution of microhardness after cementation and subsequent heat treatment

Таблица 3. Твердость
Table 3. Hardness

Условный номер детали	Твердость сердцевины HRC	Твердость цементованной поверхности, HRC	Глубина цементованного слоя, мм
По техническому заданию	35–49	не менее 59	для детали 1 — не более 2 мм на нешлифованной поверхности; не менее 1,2 мм на шлифованной поверхности
			для остальных деталей на шлифованной поверхности 1,2–1,5 мм (допуск до 1,8 мм)
1	37–39	59–63	1,6–1,7
2	43–44	59–60	1,4–1,6
3	44–43	59–60	1,2–1,4
4	41–43	60,5–62	1,4–1,5

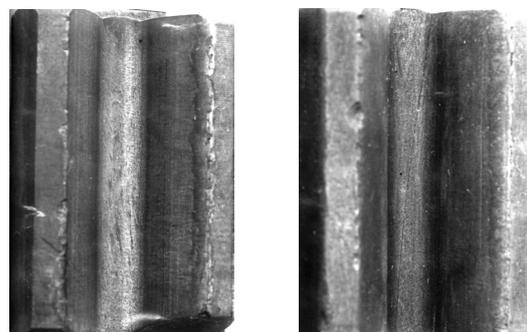


I II



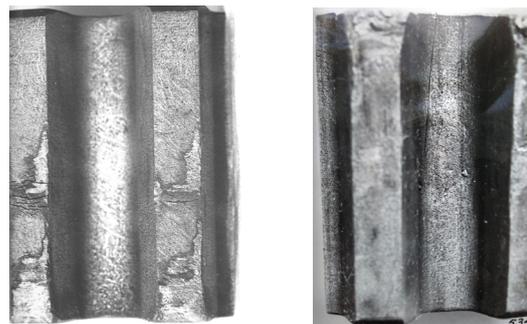
III IV

Рис. 7. Макроструктура деталей (травление в хромпике), $\times 1,5$:
I — деталь 1, II — деталь 2,
III — деталь 3, IV — деталь 4
Fig. 7. The macrostructure of parts (etching in the bichromate), $\times 1,5$:
I — detail 1, II — detail 2,
III — detail 3, IV — detail 4



I II

Рис. 8. Сектора детали 1 после травления в 50 % HCl:
I — неотпущенный,
II — после отпуска при 650 °C ($\times 1,5$)
Fig. 8. Detail's sector 1 after etching in 50 % HCl:
I — distemping,
II — after tempering at 650 °C ($\times 1,5$)



I II



III

Рис. 9. Сектора детали 2 после травления в 50 % HCl:
I — неотпущенный, II, III — после отпуска при 650 °C ($\times 1,5$)
Fig. 9. Detail's sector 2 after etching in 50 % HCl:
I — distemping, II, III — after tempering at 650 °C ($\times 1,5$)

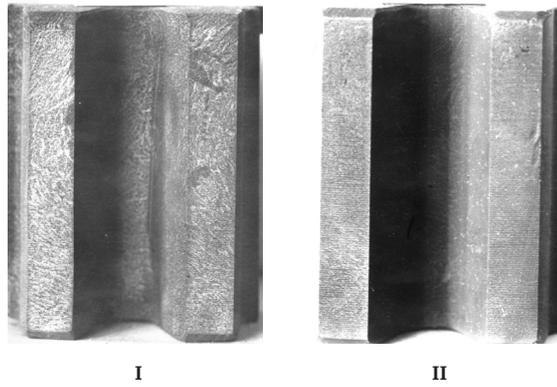
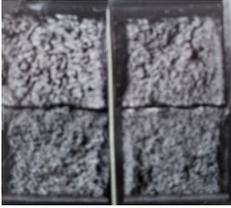
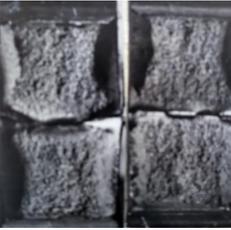


Рис. 10. Сектора детали 3 после травления в 50 % HCl:
 I — неотпущенный,
 II — после отпуска при 650 °С (×1,5)
 Fig. 10. Detail's sector 3 after etching in 50 % HCl:
 I — distemperring,
 II — after tempering at 650 °С (×1,5)

Таблица 4. Ударная вязкость образцов
 Table 4. Impact strength of samples

Условный номер детали	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ²	Характер излома
1	4,8	
	3,9	
2	4,1	
	3,7	
3	5,5	
	4,6	
4	9,5	
	10,0	

Травлению подвергались одновременно по два сектора, вырезанные из каждой детали. При этом один из вырезанных секторов перед травлением подвергался высокому отпуску при температуре 650 °С для полного снятия остаточных напряжений. Сектора травлились в течение 30–40 минут, затем осматривались, после чего травление продолжалось. Общее время травления составляло 2 часа 20 минут.

Трещины обнаруживались уже после первого этапа травления, при этом повышение времени выдержки при травлении не приводило к значительному увеличению количества и протяженности трещин.

При этом трещины имеются на секторах как неотпущенных, так и подвергшихся отпуску. На секторах детали 3 трещин не обнаружено. Все трещины расположены вдоль зуба по впадине или на боковой стороне зуба. На секторе «а» детали 2 имеются поперечные трещины на вершине зуба в тех местах, где имеются следы разрушения.

Характер расположения трещин, наличие трещин на секторах, подвергавшихся высокому отпуску, а также отсутствие трещин на секторах детали 3, которая не подвергалась эксплуатации, позволяет считать, что выявленные трещины не являются результатом термической обработки или последующей шлифовки, а возникли в процессе эксплуатации этих деталей. Подтверждением этого служит такой факт, как наличие трещин на детали 1 только на секторе, прошедшем высокий отпуск, который, очевидно, находился ближе других секторов к месту поломки (рис. 8).

Из исследуемых деталей были изготовлены образцы для определения ударной вязкости. Результаты этих испытаний, приведенные в табл. 4, показывают, что образцы 1–3 имеют пониженную ударную вязкость, что может быть объяснено повышенной загрязненностью сплава неметаллическими включениями. Деталь 4, полностью соответствующая составу высококачественной стали (ГОСТ 4543-71), отличается высокой ударной вязкостью.

Выводы и заключение

1. Химический состав материала шестерен шестеренного насоса по основным химическим элементам соответствует стали 20Х2Н4А.

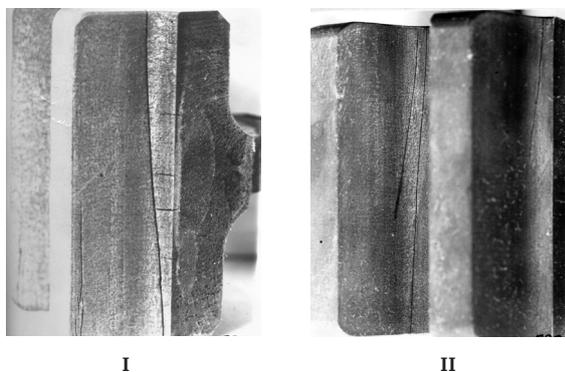


Рис. 11. Сектора детали 4 после травления в 50 % HCl:

I — неотпущенный,
II — после отпуска при 650 °С (×1,5)

Fig. 11. Detail's sector 4 after etching in 50 % HCl:

I — distempering,
II — after tempering at 650 °С (×1,5)

Содержание титана и количество неметаллических включений в металле деталей 1–3 значительно повышено и не соответствует требованиям ГОСТа на высококачественную сталь.

2. Качество цементации и последующей термической обработки всех исследованных деталей удовлетворительно и соответствует требованию технических условий.

3. Трещины, обнаруженные при травлении, являются результатом повышенных напряжений при эксплуатации деталей.

4. Более низкий срок службы деталей 1–3 предположительно является результатом низкого качества металла, что приводит к снижению ударной вязкости.

5. Длительность службы детали 4 также является недостаточной. Этот факт свидетельствует, что нагрузки, возникающие при эксплуатации детали, превышают ее предел прочности.

Список источников

1. Серов И. М., Зубков А. В., Паршиков С. В., Коробов А. В. Особенности эксплуатации и диагностирования динамического оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств. Ч. 1. Насосное оборудование // Молодой ученый. 2015. № 24. С. 199–203.
2. Берлин М. А. Ремонт и эксплуатация насосов нефтеперерабатывающих производств. М.: Химия, 1970. 280 с.
3. Зинченко В. М. Инженерия поверхности зубчатых колес методами химико-термической обработки. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. 303 с.
4. Валько А. Л., Руденко С. П., Чичин А. Н. Влияние вакуумной высокотемпературной цементации на величину зерна конструкционных сталей // Актуальные вопросы машиноведения. 2014. Т. 3. С. 343–346.
5. Руденко С. П., Валько А. Л., Чичин А. Н. Факторы, влияющие на качество структуры деталей, обрабатываемых на вакуумной линии «MODULTHERM 7/1» // Литье и металлургия. 2017. № 2 (87). С. 58–64.
6. Семенов М. Ю., Рыжова М. Ю. Оценка сопротивления заеданию высоконагруженных зубчатых колес на основе энергетической модели // Технология машиностроения. 2012. № 5. С. 64–69.
7. Смирнов А. Е., Семенов М. Ю. Применение вакуумной термической и химико-термической обработки для упрочнения тяжело нагруженных деталей машин, приборов и инструмента // Наука и образование. 2014. № 2. DOI: 10.7463/0214.0700036 (дата обращения: 25.03.2015).
8. Демидов П. Н., Семенов М. Ю., Нелюб В. А. Оптимальный выбор материала и способа поверхностного упрочнения высоконагруженных зубчатых колес с целью повышения сопротивления заеданию // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2012. № 4 (36). С. 22–27.
9. Малышев В. Н. Повышение качества зубчатых зацеплений шестеренных насосов // Проблемы качества механических передач и редукторов. Точность и контроль зубчатых колес и передач: материалы Всесоюз. науч. техн. конф. Л.: АДНТП, 1991. С. 17–18.
10. Predki W., Miltenović A. Influence of hardening on the microstructure and the wear capacity of gears made of Fe1.5Cr0.2Mo sintered steel // Science of Sintering. 2010. Vol. 42, Issue 2. 183–191. DOI: 10.2298/SOS1002183P.
11. Аистов И. П. Диагностирование рабочего состояния шестеренного насоса во время его эксплуатации // Проблемы механики современных машин: материалы II Междунар. конф. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2003. Т. 2. С. 49–52.
12. Иванов А. С., Богданова М. В. Исследование структуры и свойств цементованных слоев низкоуглеродистых цементуемых сталей // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. 2014. Т. 16, № 4. С. 57–71.

13. Семенов М. Ю., Фомина Л. П. Оценка сопротивления заеданию деталей, подвергнутых химико-термической обработке // Полет: общерос. науч.-техн. журн. 2011. № 6. С. 54–57.

14. Руденко С. П., Валько А. Л., Мосунов Е. И. Структура цементованных слоев зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных машин // Металловедение и термическая обработка металлов. 2012. № 4. С. 38–42.

НЕГРОВ Дмитрий Анатольевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение».

Адрес для переписки: negrov_d_a@mail.ru

БУРГОНОВА Оксана Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение».

Адрес для переписки: oksbourg@mail.ru

ПАНТЮХОВА Ксения Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение».

Адрес для переписки: umi10052013@gmail.com

ПУТИНЦЕВ Виталий Юрьевич, ассистент кафедры «Машиностроение и материаловедение».

Адрес для переписки: putintsev_vit@mail.ru

Для цитирования

Негров Д. А., Бургонова О. Ю., Пантюхова К. Н., Путинцев В. Ю. Исследование влияния примесей на структуру и надежность работы шестеренного насоса // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2017. Т. 1, № 2. С. 49–56.

Статья поступила в редакцию 07.11.2017 г.

© Д. А. Негров, О. Ю. Бургонова, К. Н. Пантюхова,
В. Ю. Путинцев

INFLUENCE OF IMPURITIES ON STRUCTURE AND RELIABILITY OF GEAR-TYPE PUMP OPERATION

D. A. Negrov, O. Yu. Burgonova, K. N. Pantyukhova, V. Yu. Putintsev

Omsk State Technical University,
Russia, Omsk, Mira Ave., 11, 644050

The paper concerns the definition of the various defects in the gears of the pump, which lead to increase of gaps in the pump increasing the internal losses of the working fluid, reducing performance. The text gives a detailed account of spectral analysis of the chemical composition and toughness. It investigates the microstructure, the measured hardness and micro hardness of samples. In conclusion the authors made conclusions on the results obtained, and the chemical composition of the studied samples.

Keywords: gear pump, structure steel, heat treatment, effect of impurities, cementation.

References

1. Serov I. M., Zubkov A. V., Parshikov S. V., Korobov A. V. Osobennosti ekspluatatsii i diagnostirovaniya dinamicheskogo oborudovaniya neftepererabatyvayushchikh i neftekhimicheskikh proizvodstv [Features of operation and diagnostics of dynamic equipment refineries and petrochemical plants] // Molodoy uchenyy. Young Scientist. 2015. No. 24. P. 199–203. (In Russ.).
2. Berlin M. A. Remont i ekspluatatsiya nasosov neftepererabatyvayushchikh proizvodstv [Repair and operation of pumps of oil refineries]. Moscow: Khimiya Publ., 1970. 280 p. (In Russ.).
3. Zinchenko V. M. Inzheneriya poverkhnosti zubchatykh koles metodami khimiko-termicheskoy obrabotki [Surface engineering of gear wheels by methods of chemical-thermal processing]. Moscow: MSTU Publ., 2016. 303 p. (In Russ.).
4. Val'ko A. L., Rudenko S. P., Chichin A. N. Vliyaniye vakuumnoy vysokotemperaturnoy tsementatsii na velichinu zerna konstruktivnykh staley [The influence of high temperature vacuum carburizing on grain size structural steels] // Aktual'nyye voprosy mashinovedeniya. Topical Issues of Engineering Science. 2014. Vol. 3. P. 343–346. (In Russ.).
5. Rudenko S. P., Val'ko A. L., Chichin A. N. Faktory, vliyayushchiye na kachestvo struktury detaley, obrabatyvayemykh na vakuumnoy linii «MODULTHERM 7/1» [Factors affecting the quality of the structure parts processed by vacuum line «MODULTHERM 7/1»] // Lit'ye i metallurgiya. Foundry Production and Metallurgy. 2017. No. 2 (87). P. 58–64. (In Russ.).
6. Semenov M. Yu., Ryzhova M. Yu. Otsenka soprotivleniya zayedaniyu vysokonagruzhennykh zubchatykh koles na osnove energeticheskoy modeli [Evaluation of resistance to sticking high-load gears on the basis of the energy model] // Tekhnologiya mashinostroyeniya. Technology of Mechanical Engineering. 2012. No. 5. P. 64–69. (In Russ.).
7. Smirnov A. E., Semenov M. Yu. Primeneniye vakuumnoy termicheskoy i khimiko-termicheskoy obrabotki dlya uprochneniya tyazhelonagruzhennykh detaley mashin, priborov i instrumenta [The application of vacuum heat and thermo-chemical treatment for hardening of heavily loaded machine parts, instruments and tools] // Nauka i obrazovaniye. Nauka i Obrazovanie. 2014. No. 2. DOI: 10.7463/0214.0700036. (In Russ.).
8. Demidov P. N., Semenov M. Yu., Nelyub V. A. Optimal'nyy vybor materiala i sposoba poverkhnostnogo uprochneniya vysokonagruzhennykh zubchatykh koles s tsel'yu povysheniya soprotivleniya zayedaniyu [The optimal choice of material and method of surface hardening of heavily loaded gear wheels to increase resistance to jamming] // Vestnik BGTU. Bulletin of BSTU. 2012. No. 4 (36). P. 22–27. (In Russ.).
9. Malyshev V. N. Povysheniye kachestva zubchatykh zatsepleniye shesterennykh nasosov [Improving the quality of gearing gear pumps] // Problema kachestva mekhanicheskikh peredach i reduktorov. Tochnost' i kontrol' zubchatykh koles i peredach. The quality problem of mechanical gear and gearboxes. Accuracy and control of cogwheels and transfers. Leningrad: LDNTP Publ. 1991. P. 17–18. (In Russ.).
10. Predki W., Miltenović A. Influence of hardening on the microstructure and the wear capacity of gears made of Fe1.5Cr0.2Mo sintered steel // Science of Sintering. 2010. Vol. 42, Issue 2. 183–191. DOI: 10.2298/SOS1002183P. (In Engl.).
11. Aistov I. P. Diagnostirovaniye rabocheho sostoyaniya shesterennogo nasosa vo vremya ego ekspluatatsii [Diagnosis a working condition of a gear pump during its operation] // Problemy mekhaniki sovremennykh mashin. Problems of mechanics of modern cars. Ulan-Ude: VSGTU Publ., 2003. P. 49–52. (In Russ.).
12. Ivanov A. S., Bogdanova M. V. Issledovaniye struktury i svoystv tsementovannykh slojev nizkouglerodistykh tsementuyemykh staley [The study of the structure and properties of cemented layers of carburized low carbon steels] // Vestnik PNIPU. Mashinostroyeniye, materialovedeniye. PNIPU Bulletin. Mechanical engineering, materials science. 2014. Vol. 16. No. 4. P. 57–71. (In Russ.).
13. Semenov M. Yu., Fomina L. P. Otsenka soprotivleniya zayedaniyu detaley, podvergnutykh khimiko-termicheskoy obrabotke [Evaluation of resistance to seizing of parts subjected to chemical-thermal treatment] // Polet: obshcheros. nauchn.-tekhn. zhurn. Flight: All-Russian Scientific-Technical Journal. 2011. P. 54–57. (In Russ.).
14. Rudenko S. P., Val'ko A. L., Mosunov E. I. Struktura tsementovannykh slojev zubchatykh koles transmissiy energonasyshchennykh mashin [The structure of the cemented layers of the gears in the power transmissions of machines] // Metalovedeniye i termicheskaya obrabotka metallov. Metal Science and Heat Treatment. 2012. No. 4. P. 38–42. (In Russ.).

NEGROV Dmitry Anatolievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Mechanical Engineering and Material Science Department.
Address for correspondence: negrov_d_a@mail.ru
BURGOVA Oksana Yurievna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Mechanical Engineering and Material Science Department.
Address for correspondence: oksbourg@mail.ru
PANTYUKHOVA Kseniya Nikolayevna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Mechanical Engineering and Material Science Department.
Address for correspondence: umi10052013@gmail.com
PUTINTSEV Vitaliy Yurievich, Assistant of Mechanical Engineering and Material Science Department.
Address for correspondence: putintsev_vit@mail.ru

For citations

Negrov D. A., Burgonova O. Yu., Pantyukhova K. N., Putintsev V. Yu. Influence of impurities on structure and reliability of gear-type pump operation // Omsk Scientific Bulletin. Series Aviation-Rocket and Power Engineering. 2017. Vol. 1, № 2. P. 49–56.

Received 07 November 2017.

© D. A. Negrov, O. Yu. Burgonova, K. N. Pantyukhova, V. Yu. Putintsev