

УДК 621.793.6

DOI: 10.22213/2413-1172-2023-4-66-70

Анализ возможности импортозамещения при производстве цилиндров штанговых насосов на АО «Нефтемаш»^{*}

А. В. Кашин, ПАО «Ижнефтемаш», Ижевск, Россия

С. Д. Кугультинов, доктор технических наук, профессор, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Т. В. Ломаева, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Н. С. Рябков, студент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Химико-термическая обработка направлена на насыщение поверхностного слоя элементами, изменяющими микроструктуру и свойства поверхностного слоя детали. Наиболее распространенными процессами химико-термической обработки являются цементация, азотирование и нитроцементация. Однако использование данных процессов, несмотря на повышение поверхностной твердости, усталостной прочности и сопротивления износу, имеет и недостатки, ведущие к потере производительности. К ним можно отнести длительность процесса химико-термической обработки и, главное, – необходимость последующей механической обработки для устранения возможных деформаций и коробления при получении высокоточных поверхностей. Для цилиндров штанговых насосов, работающих в условиях контактного трения, большое значение имеет точность размеров после химико-термической обработки без последующей механической обработки.

Приводятся результаты экспериментальных исследований по проверке эффективности процесса карбонитрации цилиндров штанговых насосов с целью обеспечения долговечности работы трубчатых деталей штанговых насосов на ижевском предприятии АО «Нефтемаш» и поиска возможных путей импортозамещения немецкой технологии. В результате экспериментальных исследований установлено, что для достижения требуемой по конструкторской документации твердости следует либо существенно увеличить время выдержки при газовой карбонитрации, либо для повышения производительности и эффективности провести экспериментальные исследования, используя процесс жидкостной карбонитрации в расплаве солей цианатов и карбонатов; кроме того, процесс карбонитрации, безусловно, эффективнее ионного азотирования, которое в настоящее время проводится в течение 26 часов для цилиндров штанговых насосов, так как даже при выдержке в 1,5 часа получены результаты по твердости несколько лучше, чем у китайских образцов.

Ключевые слова: химико-термическая обработка, карбонитрация, штанговые насосы, твердость, износостойкость.

Введение

В настоящее время для повышения долговечности работы трубчатых деталей штанговых насосов на ижевском предприятии АО «Нефтемаш» производится ионное азотирование на установке производства Германии. В течение длительного времени данная установка обеспечивала качественное азотирование труб. При этом в случае возникновения необходимости проведения технического обслуживания и устранения сбоев в процессе химико-термической обработки производитель оказывал требуемую помощь. Однако в настоящее время в связи с действующими санкциями Германия отказалась от оказания такой помощи. Учитывая сложившуюся ситуацию, возникла необходимость поиска возможных путей импортозамещения немецкой технологии.

В связи с этим были проанализированы различные варианты химико-термической обработки.

Химико-термическая обработка (ХТО) направлена на насыщение поверхностного слоя элементами, изменяющими микроструктуру и свойства поверхностного слоя детали [1–8]. Наиболее распространенными процессами ХТО являются цементация, азотирование и нитроцементация. Однако использование данных процессов, несмотря на повышение поверхностной твердости, усталостной прочности и сопротивления износу, имеет и недостатки, ведущие к потере производительности. К ним можно отнести длительность процесса ХТО и, главное, – необходимость последующей механической обработки для устранения возможных деформаций и коробления при получении высокоточных поверхностей.

Для цилиндров штанговых насосов, работающих в условиях контактного трения, большое значение имеет точность размеров после ХТО без последующей механической обработки. В этом случае обеспечивается почти полный контакт трущихся поверхностей, устраняются локальные захваты и знакопеременные нагрузки, создающие обычно начальные условия разрушения. Высокая прочность и точность размеров деталей – важнейшие условия, обеспечивающие высокое качество и надежность работы штанговых насосов.

В этом плане наибольший интерес представляет процесс карбонитрации, позволяющий существенно повысить твердость и износостойкость рабочих поверхностей с обеспечением высокой точности, что ведет к улучшению работоспособности деталей, работающих с циклическими нагрузками, за счет создания сжимающих напряжений [9–15]. Кроме того, карбонитрированный слой выполняет роль дополнительной смазки в парах трения.

Карбонитрация – это вид ХТО, основанный на одновременном диффузионном насыщении поверхности изделий преимущественно азотом и в меньшей степени углеродом.

Процесс карбонитрации производится в расплаве солей цианатов и карбонатов.

Сущность метода карбонитрации заключается в том, что детали машин из конструкционных материалов подвергают нагреву в расплаве солей при 540...580 °С с выдержкой до 6 часов в зависимости от габаритных размеров и требуемой толщины упрочненного слоя.

Технология используется для повышения износостойкости, усталостной прочности и в сочетании с оксидированием – для увеличения коррозионной стойкости. Во многих случаях технология карбонитрации является более выгодной альтернативой таких процессов, как поверхностная закалка, азотирование в газовой среде и в среде плазмотлеющего разряда, цементация, цианирование, нитроцементация, гальваническое хромирование («твердый хром»), фосфатирование и др.

Свойства деталей после карбонитрации во многом зависят от степени легированности сталей: чем более легирована сталь нитридообразующими элементами (Cr, V, Mo, Al, Ti, W, Mn), тем меньше толщина слоя, но выше его твердость [16–20].

Учитывая сказанное выше, было принято решение рассмотреть возможность замены ионного азотирования, производимого на установке производства Германии, карбонитрацией.

Цель исследования – совершенствование производства цилиндров штанговых насосов на АО «Нефтемаш» с целью импортозамещения химико-термической обработки на установке производства Германии.

Методы и материалы

Для проведения экспериментальных исследований по проверке эффективности процесса карбонитрации было вырезано 9 образцов из цилиндров штанговых насосов (до проведения их ионного азотирования) (рис. 1).



Рис. 1. Образец для экспериментального карбонитрирования

Fig. 1. Sample for experimental carbonitridation

Газовую карбонитрацию проводили на предприятии ООО «Политерм-Тюмень» (Тюмень) с разным временем выдержки. Из всех образцов в металлографической лаборатории АО «Нефтемаш» были изготовлены шлифы для измерения твердости. Результаты измерений твердости (средние значения 5 измерений) приведены в таблице 1.

Кроме того, были приобретены цилиндры для штанговых насосов после карбонитрации китайского производства, из которых вырезали два образца и также изготовили шлифы. Результаты измерения твердости (средние значения 5 измерений) представлены в таблице 2.

Анализ полученных результатов показывает, что твердость на поверхности у отечественных образцов несколько выше. В то же время карбонитрированный слой у китайских образцов больше, что говорит, скорее всего, о большем времени выдержки в газовой среде. С другой стороны, следует отметить, что твердость и тех, и других образцов на поверхности ниже требуемой по конструкторской документации.

Таблица 1. Результаты измерения твердости образцов после газовой карбонитрации на предприятии ООО «ПолиTERM-Тюмень» (Тюмень)

Table 1. Results of measuring the hardness of samples after gas carbonitration at the LLC Polyterm-Tyumen enterprise (Tyumen)

Время выдержки	№ образца	Твердость упрочненного слоя HV _{0,5} на глубине от поверхности, мм			
		0	0,08	0,127	0,5
15 мин	1	–	226	224	233
	2	–	222	227	227
30 мин	1	–	454	414	238
	2	–	357	308	243
1 ч	1	–	529	396	247
	2	–	428	249	235
1,5 ч	1	720	584	577	393
	2	660	598	580	382
	3	700	585	572	445
Требования КД		Не менее 870 HV _{0,5}	–	–	–

Таблица 2. Результаты измерения твердости образцов, произведенных в Китае, после газовой карбонитрации

Table 2. Results of hardness measurements of samples produced in China after gas carbonitration

Время выдержки	№ образца	Твердость упрочненного слоя HV _{0,5} на глубине от поверхности, мм			
		0	0,08	0,127	0,5
–	1	671	597	643	622
	2	668	585	659	595

Выводы

Таким образом,

- в ходе проведенных экспериментальных исследования было установлено, что существуют пути импортозамещения установки для химико-термической обработки производства Германии;

- для достижения требуемой по конструкторской документации твердости следует либо существенно увеличить время выдержки при газовой карбонитрации, либо (для повышения производительности и эффективности) провести экспериментальные исследования, используя процесс жидкостной карбонитрации в расплаве солей цианатов и карбонатов;

- процесс карбонитрации, безусловно, эффективнее ионного азотирования, которое в настоящее время проводится в течение 26 часов для цилиндров штанговых насосов, так как даже при выдержке в 1,5 часа получены результаты по твердости несколько лучше, чем у китайских образцов.

Библиографические ссылки

1. Прокошкин Д. А. Химико-термическая обработка металлов – карбонитрация. М. : Металлургия ; Машиностроение, 1984. 240 с.
2. Азотирование и карбонитрирование / [Р. Чаттерджи-Фишер, Ф.-В. Эйзелл, Р. Хоффманн и др.] ; пер. с нем. В. А. Федоровича ; под ред. [и с предисл.] А. В. Супова. М. : Металлургия, 1990. 278 с.

3. Герасимов С. А., Куксенова Л. И., Лантева В. Г. Структура и износостойкость азотированных конструкционных сталей и сплавов. М. : Изд-во ИжГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. 518 с.

4. Яковлева А. П. Анализ существующих методов повышения качества поверхностных слоев // Главный механик. 2023. № 9. С. 554–559.

5. Коротков В. А. Исследование комбинированного упрочнения сталей плазменной закалкой и карбонитрацией // Вестник машиностроения. 2018. № 12. С. 76–78.

6. Шарая О. А., Пастухов А. Г., Кравченко И. Н. Инженерия поверхности упрочненных деталей : монография. М. : НИЦ ИНФРА-М, 2020. 124 с. ISBN 978-5-16-015424-4

7. Об использовании повторной низкотемпературной нитроцементации для эффективного упрочнения коленчатых валов автомобилей «КамАЗ», шлифованных под ремонтные / В. И. Колмыков, Р. Ю. Костин, Ю. С. Воробьев, Д. В. Колмыков // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2023. Т. 13, № 2. С. 70–85.

8. Коротков В. А., Ананьев С. П., Злоказов М. В. Износостойкость сталей с плазменной закалкой и карбонитрацией : монография / под ред. В. А. Короткова. Нижний Тагил : НТИ (филиал) УрФУ, 2014. 104 с.

9. Тельдеков В. А., Гуревич Л. М. Исследование технологии низкотемпературной нитроцементации для комплексного упрочнения деталей машин // Известия Волгоградского государственного технического университета. 2021. № 10 (257). С. 64–68.

10. Степанчукова А. В., Приймак Е. Ю. Оценка эффективности применения процесса карбонитрации

для упрочнения резьбовых соединений бурильных труб из заготовок зарубежного производства // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2020. № 3 (53). С. 26–37.

11. Костин Н. А., Колмыков В. И., Костин Н. Н. Поверхностное модифицирование экономно легированной стали 9хс в азотисто-углеродной среде для повышения износостойкости // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12, № 3. С. 57–71.

12. Балтин Б. А., Яковлева А. П. Анализ методов химико-термической и термической обработки для повышения износостойкости деталей машин // Главный механик. 2020. № 5. С. 40–53.

13. Обеспечение качества станочных приспособлений с износостойкими покрытиями в процессе изготовления / А. С. Краско, А. А. Ковалев, С. А. Кудинов [и др.] // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2023. № 2. С. 109–119.

14. Коротков В. А. Карбонитрация как средство снижения износа деталей металлургического оборудования // Металлург. 2015. № 12. С. 63–67.

15. Сравнительные испытания структуры и свойств поверхностного слоя стали 38Х2МЮА после ионно-плазменного азотирования и электромеханической поверхностной закалки / Л. В. Федорова, С. К. Федоров, Ю. С. Иванова, Со. Л. Мьят // Упрочняющие технологии и покрытия. 2023. Т. 19, № 3 (219). С. 133–138.

16. Химико-термическая обработка стали 08Х18Н10Т для повышения ее эксплуатационных характеристик / А. А. Красуля, А. А. Пермитина, А. С. Помельникова, С. Г. Цих // Заготовительные производства в машиностроении. 2021. Т. 19, № 9. С. 419–421.

17. Цих С. Г., Красуля А. А. Инновации в процессах борирования // Арматуростроение. 2021. № 5 (134). С. 54–59.

18. Водолазская Н. В., Шарая О. А. Технологические принципы модифицирования поверхностного слоя ответственных деталей машин // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2021. № 25. С. 86–89.

19. Костин Н. А., Колмыков В. И., Костин Н. Н. Поверхностное модифицирование экономно легированной стали 9ХС в азотисто-углеродной среде для повышения износостойкости // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12, № 3. С. 57–71. DOI: 10.21869/2223-1528-2022-12-3-57-71

20. Шарая О. А., Водолазская Н. В. Упрочнение сульфиданированием деталей ответственных соединений // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 3 (31). С. 37–46.

References

1. Prokoshkin D.A. (1984) *Himiko-termicheskaja obrabotka metallov - karbonitracija* [Chemical-thermal treatment of metals - carbonitration]. Moscow: Metallurgija, Mashinostroenie Publ., 1984, 240 p. (in Russ.).

2. Chatterdzhii-Fisher R., Jejjell F.-V., Hoffmann R. (1990) *Azotirovanie i karbonitirovanie* [Nitriding and carbonitriding]. Moscow: Metallurgija Publ., 1990, 278 p. (in Russ.).

3. Gerasimov S.A., Kuksenova L.I., Lapteva V.G. (2014) *Struktura i iznosostojkost' azotirovannykh konstrukcionnykh stalej i splavov* [Structure and wear resistance of nitrided structural steels and alloys]. Moscow: MGТУ im. N.Je. Bauman Publ., 2014, 518 p. (in Russ.).

4. Jakovleva A.P. (2023) [Analysis of existing methods for improving the quality of surface layers]. *Glavnyj mehanik*, 2023, no. 9, pp. 554-559 (in Russ.).

5. Korotkov V.A. (2018) [Study of combined hardening of steels by plasma hardening and carbonitration]. *Vestnik mashinostroenija*, 2018, no. 12, pp. 76-78 (in Russ.).

6. Sharaja O.A., Pastuhov A.G., Kravchenko I.N. (2020) *Inzhenerija poverhnosti uprochnennykh detalej* [Surface engineering of hardened parts]. Moscow: NIC INFRA-M Publ., 2020, 124 p. (in Russ.). ISBN 978-5-16-015424-4

7. Kolmykov V.I., Kostin R.Ju., Vorob'jov Ju.S., Kolmykov D.V. (2023) [On the use of repeated low-temperature nitrocarburization for effective hardening of crankshafts of KAMAZ vehicles ground for repair]. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, Serija: Tehnika i tehnologii*, 2023, vol. 13, no. 2, pp. 70-85 (in Russ.).

8. Korotkov V.A., Anan'ev S.P., Zlokazov M.V. (2014) *Iznosostojkost' stalej s plazmennoj zakalkoj i karbonitraciej* [Wear resistance of steels with plasma hardening and carbonitration]. Nizhnij Tagil: NTI (filial) UrFU Publ., 2014, 104 p. (in Russ.).

9. Tel'dekov V.A., Gurevich L.M. (2021) [Study of low-temperature nitrocarburization technology for complex hardening of machine parts]. *Izvestija Volgogradskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*, 2021, no. 10 (257), pp. 64-68 (in Russ.).

10. Stepanchukova A.V., Prijmak E.Ju. (2020) [Evaluation of the effectiveness of using the carbonitration process for strengthening threaded connections of drill pipes from foreign-made blanks]. *Vektor nauki Tol'jattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, no. 3 (53), pp. 26-37 (in Russ.).

11. Kostin N.A., Kolmykov V.I., Kostin N.N. (2022) [Surface modification of economically alloyed steel 9xs in a nitrogen-carbon medium to increase wear resistance]. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, Serija: Tehnika i tehnologii*, 2022, vol. 12, no. 3, pp. 57-71 (in Russ.).

12. Baltin B.A., Jakovleva A.P. (2020) [Analysis of chemical-thermal and thermal treatment methods to increase the wear resistance of machine parts]. *Glavnyj mehanik*, 2020, no. 5, pp. 40-53 (in Russ.).

13. Krasko A.S., Kovalev A.A., Kudinov S.A. [Ensuring the quality of machine tools with wear-resistant coatings during the manufacturing process]. *Problemy mashinostroenija i avtomatizacii*, 2023, no. 2, pp. 109-119 (in Russ.).

14. Korotkov V.A. (2015) [Carbonitration as a means of reducing wear of metallurgical equipment parts]. *Metallurg*, 2015, no. 12, pp. 63-67 (in Russ.).
15. Fedorova L.V., Fedorov S.K., Ivanova Ju.S., M'jat So.L. (2023) [Comparative tests of the structure and properties of the surface layer of steel 38Kh2MYuA after ion plasma nitriding and electromechanical surface hardening]. *Uprochnjajushhie tehnologii i pokrytija*, 2023, vol. 19, no. 3 (219), pp. 133-138 (in Russ.).
16. Krasulja A.A., Permitina A.A., Pomel'nikova A.S., Cih S.G. (2021) [Chemical-thermal treatment of steel 08X18H10T to improve its performance characteristics]. *Zagotovitel'nye proizvodstva v mashinostroenii*, 2021, vol. 19, no. 9, pp. 419-421 (in Russ.).
17. Cih S.G., Krasulja A.A. (2021) [Innovations in boriding processes]. *Armaturostroenie*, 2021, no. 5 (134), pp. 54-59 (in Russ.).
18. Vodolazskaja N.V., Sharaja O.A. (2021) [Technological principles for modifying the surface layer of critical machine parts]. *Journal of Advanced Research in Technical Science*, 2021, no. 25, pp. 86-89 (in Russ.).
19. Kostin N.A., Kolmykov V.I., Kostin N.N. (2022) [Surface modification of economically alloyed steel 9XC in a nitrogen-carbon environment to increase wear resistance]. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta, Serija: Tehnika i tehnologii*, 2022, vol. 12, no. 3, pp. 57-71 (in Russ.). DOI: 10.21869/2223-1528-2022-12-3-57-71
20. Sharaja O.A., Vodolazskaja N.V. (2021) [Strengthening by sulfocyanation of parts of critical connections]. *Innovacii v APK: problemy i perspektivy*, 2021, no. 3 (31), pp. 37-46 (in Russ.).

Analysis of the Possibility of Import Substitution in the Production of Sucker Rod Pump Cylinders at JSC “Neftemash”

A.V. Kashin, PJSC “Izhneftemash”, Izhevsk, Russia

S.D. Kugultinov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

T.V. Lomaeva, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

N.S. Ryabkov, Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

Chemical-thermal treatment is aimed at saturating the surface layer with elements that change the microstructure and properties of the surface layer of the part. The most common chemical-thermal treatment processes are carburization, nitriding and nitrocarburization. However, the use of these processes, despite increasing surface hardness, fatigue strength and wear resistance, also has disadvantages leading to loss of productivity. These include the duration of the chemical-thermal treatment process and, most importantly, the need for subsequent mechanical processing to eliminate possible deformations and warping when obtaining high-precision surfaces. For cylinders of sucker rod pumps operating under conditions of contact friction, dimensional accuracy after chemical-thermal treatment without subsequent mechanical treatment is of great importance.

The article presents the results of experimental studies to test the effectiveness of the carbonitration process of rod pump cylinders, in order to ensure the longevity of the tubular parts of rod pumps at the Izhevsk enterprise Neftemash JSC and to search for possible ways of import substitution of German technology. As a result of experimental studies, it was found that in order to achieve the hardness required by the design documentation, it is necessary to either significantly increase the exposure time during gas carbonitration, or, to increase productivity and efficiency, conduct experimental studies using the process of liquid carbonitration in a molten salts of cyanates and carbonates; and also, the carbonitration process is certainly more effective than ion nitriding, which is currently carried out for 26 hours for cylinders of sucker rod pumps, since even with a holding time of 1.5 hours, the hardness results obtained are somewhat better than those of Chinese samples.

Keywords: chemical-thermal treatment, carbonitration, sucker-rod pumps, hardness, wear resistance.

Получено 14.11.2023

Образец цитирования

Анализ возможности импортозамещения при производстве цилиндров штанговых насосов на АО «Нефтемаш» / А. В. Кашин, С. Д. Кугультинов, Т. В. Ломаева, Н. С. Рябков // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2023. Т. 26, № 4. С. 66–70. DOI: 10.22213/2413-1172-2023-4-66-70

For Citation

Kashin A.V., Kugultinov S.D., Lomaeva T.V., Ryabkov N.S. (2023) [Analysis of the Possibility of Import Substitution in the Production of Sucker Rod Pump Cylinders at JSC “Neftemash”]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2023, vol. 26, no. 4, pp. 66-70 (in Russ.). DOI: 10.22213/2413-1172-2023-4-66-70