

6. Denisov S.V. Study of the bonding process of veneer humidity: dis. ... kand. tehn. nauk. L., 1980. 183 p.

7. Izraelit A.B., Denisov S.V. Theoretical study of the stress-strain state of the plywood after gluing humid veneer vacuum presses // Tehnologija i oborudovanie derevoobrabatyvajushih proizvodstv. 1982. № 11. P. 37-41.

8. Chubinskij A.N. Formirovanie adhesive compounds wood. SPb.: Izd-vo S.-Peterb. un-ta, 1992. 164 p.

9. Lykov A.V. Theory of drying Teorija sushki. M.: Jenergiya, 1968. 472 p.

10. Ortinskaja G.E., Behta P.A., Bakalec A.V. Mathematical model of the process of manufacturing plywood from veneer

high humidity // Nauchnyj vestnik NLTU Ukrainy: sb. nauch.-tehn. tr. L'vov, 2010. Vyp. 20. P. 308-312.

11. Ozarkiv I.M., Soroka L.Ja., Gricjuk Ju.I. Fundamentals of aerodynamics and heat and mass transfer. Kiev: IZMN, 1997. 280 p.

12. Ozarkiv I.M., Belej P.V., Sokolovskij I.A., Soroka L.Ja., Acberger I.L. Thermal processes of woodworking. L'vov: RVV NLTU Ukrainy, 2008. 264 p.

13. Bilej P.V. Theoretical bases of heat treatment and drying of wood. Kiev: Kolomyja, 2005. 364 p.

14. Shubin G.S. Drying and heat treatment of the wood. M.: Lesnaja promyshlennost', 1990. 207 p.

УДК 630*36:621.785.5-5

DOI: 10.18324/2077-5415-2016-3-167-172

Методика повышения коррозионной стойкости деталей лесных машин путем поверхностного упрочнения

О.М. Тимохова^a, О.Н. Бурмистрова^b

Ухтинский государственный технический университет, ул. Первомайская 13, Ухта, Республика Коми, Россия

^aotimohova@ugtu.net, ^boburmistrova@ugtu.net

Статья получена 18.05.2016, принята 24.07.2016

Рассмотрены вопросы разработки ресурсосберегающих технологий упрочнения поверхностей при ремонте, эксплуатации и техническом обслуживании лесных машин. В процессе эксплуатации, наряду с механическим износом узлов и механизмов лесных машин, происходит коррозионный износ. Главной целью и задачей данной работы является разработка мероприятий по снижению интенсивности коррозионных процессов в структуре конструкций машин и агрегатов лесных машин, а также повышению их долговечности, надежности и коррозионной стойкости. Для повышения коррозионной стойкости деталей лесных машин предлагается применение комплексной технологии обработки, которая включает в себя химико-термическую обработку с последующим газотермическим напылением. Для проведения соответствующих исследований были выбраны следующие технологии восстановления: классическая термообработка с последующим газотермическим напылением; исследуемая термообработка с последующим газотермическим напылением исследуемым порошком; газотермическое напыление без термообработки; газотермическое напыление с исследуемым порошком. Для эксперимента использовались образцы, прошедшие термическую и химико-термическую обработку, а также подвергшиеся только газотермическому напылению. Были изучены составы стандартных порошков и исследуемого порошка, в который включены наночастицы отходов целлюлозного производства. Результаты исследования позволяют считать, что описываемый метод упрочнения и восстановления, при всем многообразии современных технологических процессов, является одним из перспективных в области изготовления и ремонта деталей лесных машин.

Ключевые слова: поверхностное упрочнение; коррозия; газотермическое напыление; химико-термическая обработка.

Technique for increasing corrosion resistance of parts in forestry machinery by surface hardening

О.М. Timokhova^a, О.Н. Burmistrova^b

Ukhta State Technical University; 13, Pervomayskaya St., Ukhta, Republic of Komi, Russia

^aotimohova@ugtu.net, ^boburmistrova@ugtu.net

Received 18.05.2016, accepted 24.07.2016

The issues on the development of the resource-saving surface hardening technologies have been studied for forestry machinery when repaired, exploited and serviced. When exploiting, along with the mechanical wear of machine components and mechanisms, the machine forestry machinery also have the corrosion wear. The main aim of this work is to develop the measures to reduce the intensity of corrosion processes in the structure of forestry machinery and equipment, as well as to increase their durability, reliability and corrosion resistance. To improve the corrosion resistance for the parts of forestry equipment, complex treatment technology has been proposed. Complex treatment technology includes chemical-thermal treatment with subsequent gas-thermal spraying. To conduct relevant studies following restoration technologies have been selected: classical thermal treatment with subsequent gas-thermal spraying; analyzed thermal treatment with subsequent gas-thermal spraying of the analyzed powder; gas-thermal spraying without thermal treatment;

gas-thermal spraying with the analyzed powder. To conduct the experiment, samples gone through thermal and chemical-thermal treatment have been used, as well as those ones that have gone only through gas-thermal spraying. Compositions of standard powders and the analyzed powder composition, which contains nanoparticles of waste pulp production, have been studied. Thus, in all the existing diversity in the modern world of technological processes of restoration and repair of parts of forestry machinery, this method of hardening and restoration of parts of forestry machinery is one of the promising ones in the field of manufacturing, restoration and repair of machine parts.

Key words: surface hardening; corrosion; gas-thermal spraying; chemical-thermal treatment.

Введение

В настоящее время особое внимание уделено требованиям к экономичности и необходимой экологической безопасности технологических процессов. При оценке ныне существующих или разрабатываемых технологий необходимо учитывать не только основные производственные показатели, но и влияние на окружающую среду, расход материальных и энергетических ресурсов, затраты на обеспечение экологической безопасности. Данный подход позволяет более глубоко оценить сущность имеющихся проблем и выделить определенное направление в разработке ресурсосберегающих технологий обработки поверхностей деталей при ремонте, эксплуатации и техническом обслуживании лесных машин.

При эксплуатации лесных машин наряду с естественным износом узлов и механизмов машины происходит коррозионный износ. Главной целью и задачей данного исследования является разработка мероприятий по снижению интенсивности коррозионных процессов в структуре конструкций машин и агрегатов лесных машин и вместе с тем повышению их долговечности, надежности и коррозионной стойкости.

Результаты исследований. Для повышения коррозионной стойкости деталей лесных машин предлагается применение комплексной технологии обработки. На рис. 1 представлена схема комплексной технологии обработки деталей машин, повышающая сопротивление обрабатываемой детали коррозионному износу, который неизбежно возникает в процессе эксплуатации. Последовательность обработки детали в данном комплексе предполагает вначале химико-термическую обработку и затем нанесение газотермического напыления.



Рис. 1. Комплексная технология обработки и упрочнения деталей

Для изучения различных технологических процессов экспериментальным исследованиям были подвергнуты четыре партии образцов.

Выбраны следующие технологии восстановления и упрочнения:

- классическая термообработка с последующим газотермическим напылением;
- исследуемая термообработка с последующим газотермическим напылением исследуемым порошком;
- газотермическое напыление без термообработки;

– газотермическое напыление с исследуемым порошком.

На первом этапе проводили химико-термическую обработку. Для исследований термообработки были выбраны электролиты: 3%-ный раствор NaOH, 3%-ный раствор уксусной кислоты, сернокислые соли, морская и пресная вода. В связи с тем, что среда оказывает влияние на коррозионные процессы и износостойкость в случае реализации преимущественно деформационного процесса, нами проводились исследования влияния различных сред на контактную усталость роликов при фрикционном качении. Естественно, при этом нет полной аналогии между упругопластическим деформированием поверхности роликов при фрикционном качении и контактным циклическим воздействием абразивных частиц — агрессивной среды. Однако вследствие того, что разрушение материала в обоих случаях связано с образованием и развитием несовершенств в деформируемом объеме, его наводороживание должно оказывать одинаковое воздействие на износостойкость и коррозионную стойкость материала как при фрикционном качении, так и при деформационной изнашиваемости материала абразивными частицами смазочного вещества.

Ролики подвергали микролегированию поверхности при химико-термической обработке. Комплексное легирование поверхности при термической обработке возможно при цементации стали, когда в качестве химического реагента используется карбюризатор, содержащий углерод и легирующие элементы.

Технологический режим химико-термической обработки (ХТО) (рис. 2) заключался в цементации при температуре 900 °С, закалке при температуре 850 °С, последующем низком отпуске.

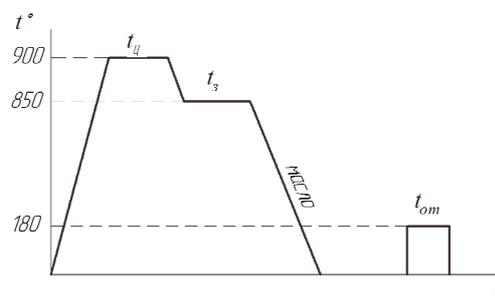


Рис. 2. Классический режим ХТО

Исследуемый карбюризатор (рис. 3) для цементации стали содержал обработанную щелочью смесь лигнина и кека при следующем соотношении компонентов, мас. %: лигнин — 88...94, кек — 6...12, при этом кек включает каолин, окись кальция, двуокись титана. Лигнин является отходом деревообрабатывающей промышленности и состоит из собственно лигнина, полисахарида, фурфурола, остатков серной, соляной и органических кислот.

Затем образцы после химико-термической обработки и такие же образцы из стали 20Х без микролегирования, прошедшие цементацию по классической схеме, исследовались на износостойкость и коррозионную стойкость. Исследования проводили на специально сконструированной установке, позволяющей поддерживать величину давления 0...1 МПа в течение всего эксперимента. В качестве абразивной массы использовали кварцевый песок фракции 70 мкм, который обрабатывали для создания агрессивной среды 3%-ным раствором NaOH, 3%-ным раствором уксусной кислоты, сернокислыми солями, морской и пресной водой.

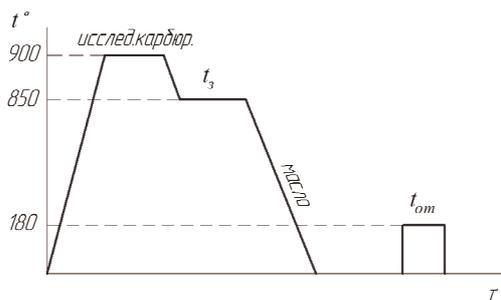


Рис. 3. ХТО с исследуемым карбюризатором

Охлаждение легированных сталей после закалки в различных технических маслах, а также водных растворах щелочей позволяет избежать остаточных внутренних напряжений, трещин. В проводимом эксперименте масло заменили водным раствором (рис. 4), содержащим по мас., %: моносульфитного натрия (NaHS) — 2...5, борогидрита натрия (NaBH₄) — 0,4...0,74.

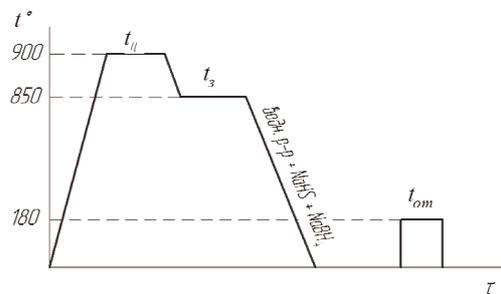


Рис. 4. Исследуемая закалочная среда после классической ХТО

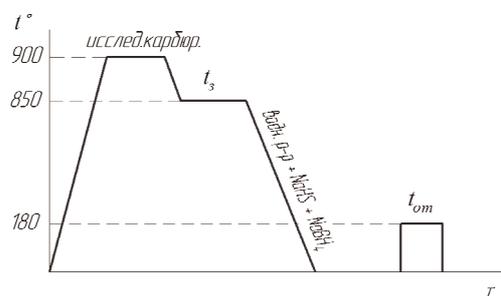


Рис. 5. Исследуемая закалочная среда после ХТО с новым составом карбюризатора

При использовании исследуемой жидкости не наблюдается выделения дыма, поверхность детали в результате химико-термической обработки имеет матово-серый цвет, следов окисления и обезуглероживания не наблюдалось.

Одну партию образцов охлаждали в масле, другую — в исследуемой закалочной среде. После закалки об-

разцы, закаленные в масле, имели твердость HRC 48...50; образцы, закаленные в исследуемой среде — 50...53.

Анализ результатов эксперимента показывает, что наиболее интенсивно изнашиваются образцы, закаленные в масле. Закалка в масле упрочняет сталь, но в случае закалки в исследуемой жидкости происходит поверхностное микролегирование. В процессе закалки происходит диффузия бора в поверхностные слои металла в количестве 0,00025 %, при этом бор образует карбиды бора BC, которые повышают износостойкость материала. Имея простую решетку с малым периодом, полученная структура обладает высокой температурой плавления, поэтому при нагреве она сохраняет твердость металла.

Второй этап — это газотермическое напыление исследуемым порошком.

Газотермическое напыление позволяет не только обеспечить упрочнение деталей, но и повысить их коррозионную стойкость.

Детали лесных машин предлагается упрочнять и восстанавливать порошком на основе металлидов, которые используются для нанесения коррозионно- и износостойких покрытий. Материалом для покрытия выбран сплав ПР-Н80Х13С2Р, в состав которого были введены наночастицы целлюлозы (0,5...1,5 %).

Процесс нанесения покрытия происходит при помощи скоростной высокотемпературной струи, которая имеет в своем составе частицы порошка или расплавленный материал в виде капель, которые, в свою очередь, при ударе о металл остаются на его поверхности.

Для участия в эксперименте использованы образцы, прошедшие термическую и химико-термическую обработку, а также образцы, которые были подвержены только газотермическому напылению.

Для нанесения покрытия использована газопламенная горелка (рис. 6). Источником тепла в такой горелке является ацетиленкислородное пламя, температура которого не превышает 3 000 °С. Порошок, в составе которого находятся наночастицы целлюлозы, в процессе напыления попадает в факел ацетиленкислородного пламени, разогревается до температуры, близкой к плавлению, и развивает скорость примерно 20...30 м/с.

При соударении с подложкой разогретые частицы соединяются с поверхностью детали и друг с другом, в результате чего образуется плотное, равномерное по всей площади наноструктурированное покрытие толщиной до 20 мкм.

В ходе эксперимента были исследованы составы стандартных порошков, а также состав порошка, в который включены наночастицы отходов целлюлозного производства (табл. 1).

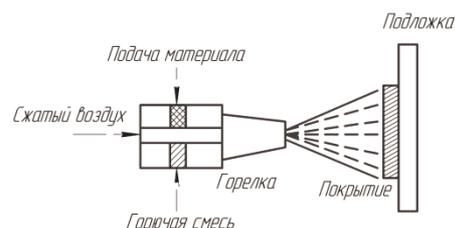


Рис. 6. Схема нанесения газотермического покрытия [14]

Таблица 1

Химический состав порошков для газотермического напыления

Марка	Химический состав, %							Твердость
	Cr	B	Si	Fe	C	Mn	Прочие элементы	
ПР-Н80Х13С2Р	12-13	1,3-1,6	2,1-2,5	1,5-3,5	0,2-0,3	–	–	35-44 HRC _э
ПР-Н77Х15С3Р3	14-15	1,9-2,2	2,9-3,3	1,5-3,5	0,4-0,5	–	–	39-50 HRC _э
ПГ-СР3 (на основе Ni)	14-15	2,1-2,6	2,6-3,3	4	0,5-0,6	–	–	48-50 HRC _э
ПГ-12Н-01 (на основе Ni)	8-14	1,7-2,3	1,2-3,2	2,0-5,0	0,3-0,6	–	–	35-40 HRC _э
ПТ-19Н-01 (на основе Ni+Al)	8-14	1,7-2,3	1,2-3,2	2,0-5,0	0,3-0,6	0,8-1,3	0,8-1,1 Al	43-51 HRC _э
Исследуемый порошок на основе ПР-Н80Х13С2Р	12-14	1,3-1,5	2,1-2,3	1,5-2,9	0,2-0,25	–	наночастицы (0,5-1,5 %)	91 HRC _э

Напыление производят в несколько слоев, каждый из них — это сильнодеформированные напыленные частицы, имеющие между собой взаимодействие по контактному поверхностям.

Для разных покрытий имеется разная толщина напыляемого слоя, которая находится в различных пределах. Наиболее распространенная толщина (за один проход) — от 10 до 30 мкм. В период между нанесением очередного слоя покрытия происходит адсорбция газов, оксидов распыляемого материала и его окисление. Таким образом, время нахождения в атмосфере определяет условия образования границ между слоями и зернами [14; 15].

Следующим этапом экспериментальных исследований было определение твердости покрытия. Твердость является одной из наиболее распространенных характеристик, определяющих качество металлов и сплавов, а также возможность их применения в различных конструкциях и при различных условиях работы.

Для исследования получаемой твердости покрытия был проведен полный факторный эксперимент 2^2 [16]. На твердость покрытия оказывают влияние следующие факторы: содержание наночастиц в порошке, количество борогидрита натрия.

Полный факторный эксперимент (ПФЭ) был проведен с помощью математического пакета Mathcad 13.0.

Композиционный план состоит из экспериментов ПФЭ 2^k , к которым добавляют эксперимент в центре плана и в 2^k точках, координаты которых: $(\pm \alpha, 0, \dots, 0)$, $(\pm \alpha, 0, \dots, 0)$, \dots , $(\pm \alpha, 0, \dots, 0)$, где α — расстояние от центра плана до звездной точки — «звездного плеча» [16].

Количество опытов рассчитывается по формуле:

$$N = N_0 + 2 \cdot k + n_0, \quad (1)$$

где n_0 — количество опытов в центре плана; k — число факторов; N_0 — число опытов полного факторного эксперимента 2^k .

Длина «звездного плеча» α рассчитывается по формуле:

$$\alpha = \frac{\sqrt{N_0 \cdot N} + N_0}{2} \quad (2)$$

В табл. 2 представлена матрица планирования эксперимента.

Таблица 2

Матрица планирования эксперимента

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	$(x_1')^2$	$(x_2')^2$	$x_1 x_2$	y
1	+1	-1	-1	+0,33	+0,33	+1	54,15
2	+1	+1	-1	+0,33	+0,33	-1	59,36
3	+1	-1	+1	+0,33	+0,33	-1	81,65
4	+1	+1	+1	+0,33	+0,33	+1	80,4
5	+1	0	0	-0,67	-0,67	0	77,27
6	+1	+1	0	+0,33	-0,67	0	66,35
7	+1	-1	0	+0,33	-0,67	0	69,88
8	+1	0	+1	-0,67	+0,33	0	84,28
9	+1	0	-1	-0,67	+0,33	0	57,5
Σ	9	6	6	2	2	4	–

Коэффициенты уравнения регрессии рассчитываются по следующим формулам:

$$b_1 = \frac{\sum(x_1 \cdot y)}{6}; \quad b_2 = \frac{\sum(x_2 \cdot y)}{6}; \quad b_{11} = \frac{\sum((x_1')^2 \cdot y)}{2};$$

$$b_{22} = \frac{\sum((x_2')^2 \cdot y)}{2}; \quad b_{12} = \frac{\sum(x_1 \cdot x_2 \cdot y)}{4}$$

$$b_0 = \frac{\sum(x_0 \cdot y)}{9} - 0,67b_{11} - 0,67b_{22}. \quad (3)$$

Полученные коэффициенты:

$$b_1 = 0,07; \quad b_2 = 12,555; \quad b_{12} = -1,613;$$

$$b_0 = 74,111; \quad b_{11} = -4,387; \quad b_{22} = -1,612.$$

Проверку значимости коэффициентов уравнения регрессии проводили с помощью критерия Стьюдента:

$$S_{bj} = \frac{S_{воспр}}{\sqrt{N}},$$

где $S_{воспр}$ — дисперсия воспроизводимости.

$$S_{воспр}^2 = \frac{\sum_{i=1}^r (y_i^0 - \bar{y}^0)^2}{r-1},$$

где r — количество параллельных опытов.

Расчетное значение критерия Стьюдента для нашей модели равно 0,465. Оставив значимые коэффициенты, уравнение примет следующий вид:

$$y(x_1, x_2) = 74,111 + 0,007 \cdot x_1 + 12,555 \cdot x_2 - 4,387 \cdot x_1^2 - 1,612 \cdot x_2^2 - 1,613 \cdot x_1 \cdot x_2$$

Проверка адекватности модели проводилась с использованием критерия Фишера:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_{воспр}^2},$$

где $S_{ост}^2$ — остаточная дисперсия,

$$S_{ад}^2 = \frac{r}{N-m} \cdot \sum_{i=1}^N (y_i - y_i)^2,$$

где m — число членов аппроксимирующего полинома (включая свободный член), $m = 6$.

Если значение критерия меньше критического $F_{кр}$, определенного из таблицы для соответствующих степеней свободы и при заданном уровне значимости α , %, то модель адекватна.

При $S_{ад}^2 = 0,25$ и $S_{воспр}^2 = 0,17$ для степеней свободы $f_{ад} = 4$, $f_e = 12$ и уровне значимости $\alpha = 5\%$ значение $F = 4,56 < F_{кр} = 5,59$.

Следовательно, представленная модель может считаться адекватной.

На основе полученной математической модели построен график поверхности (рис. 7). Из графика видно, что твердость покрытия максимально высокая в зоне подобранных коэффициентов.

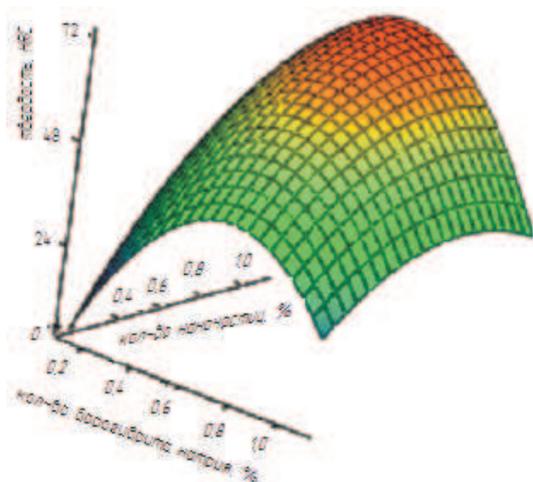


Рис. 7. График исследования твердости получаемого покрытия

Заключение

При существующем многообразии технологических процессов восстановления и ремонта деталей лесных машин можно говорить о том, что предложенный метод упрочнения и восстановления является одним из перспективных в области изготовления, восстановления и ремонта деталей машин.

Литература

1. Тимохова О.М., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В., Слядзь Н.Н., Глушков В.И. Исследование коррозионной стойкости стали после термической обработки // Материалы IX международной молодежной научной конф. «Севергеоэкотех-2008». Ухта: УГТУ, 2008. Ч. 1. С. 254-256.
2. Тимохова О.М. Исследование наноматериалов при поверхностном упрочнении деталей лесных машин / О.М. Тимохова, Н.Р. Шоль // Система. Методы. Технологии. 2012. №4 (6). С. 29-31.
3. Тимохова О.М. К вопросу водородного охрупчивания стали // Сб. науч. тр. по итогам международной научно-технической конференции: «Новые материалы и технологии в машиностроении»: сб. науч. тр. по итогам научно-практ. конф. Брянск, 2010. Вып. 12. С. 120-122.
4. Тимохова О.М., Шоль Н.Р., Коптяева Г.Б. Мониторинг коррозионных разрушений конструкций машин и оборудования отрасли // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы междунар. научно-техн. конф. Вологда, 2010. С. 225-228.
5. Тимохова О.М. Особенности протекания коррозии при минусовых температурах // Материалы IX междунар. молодеж. науч. конф. «Севергеоэкотех-2008». Ухта, 2008. Ч. 1. С. 256 - 258.
6. Тимохова О.М., Шоль Н.Р., Коптяева Г.Б. Перспективы применения газотермического напыления для восстановления деталей машин // Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки от нано- до макроуровня: материалы 12-й междунар. научно-практ. конф. СПб., 2010. Ч. 1. С. 217-220.
7. Тимохова О.М., Шоль Н.Р., Коптяева Г.Б. Повышение коррозионной стойкости технологического оборудования и деталей машин // Научно-технический вестник Поволжья. 2011. № 3. С. 141-144.
8. Тимохова О.М. Повышение коррозионной стойкости деталей лесотранспортных машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Йошкар-Ола, 2013. 22 с.
9. David E.J., James D.R. Corrosion science and technology. CRC Press, 2010. 432 p.
10. Davis J.R. Corrosion: understanding the basics. ASM International, 2000. 563 p.
11. Fontana M.O. Corrosion engineering. Tata McGraw-Hill, 2005. 556 p.
12. Khanna A.S. Introduction to high temperature oxidation and corrosion. N.Y.: ASM Int., 2002. 393 p.
13. Philippe M. Corrosion mechanisms in the theory and practice. N.Y., 2002. 768 p.
14. Балдаев Л.Х. Реновация и упрочнение деталей машин методами газотермического напыления. М., 2004. 134 с.
15. Практика и перспективы применения защитных покрытий на корпусных деталях и узлах погружных центробежных насосов [Электронный ресурс]. URL: <http://www.tspc.ru/about/lit/cns/> (дата обращения: 14. 05. 2016).
16. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных: пер. с англ. Л.: Судостроение, 1980. 384 с.
17. Борисов Ю.С., Харламов Ю.А., Сидоренко С.Л., Ардамовская Е.Н. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Киев: Наукова думка, 1987. 544 с.

18. Бородин И.Н. Упрочнение деталей композиционными покрытиями. М.: Машиностроение, 1982. 141 с.

19. Ворошнин Л.Г., Пантелеев Ф.И., Константинов В.М. Теория и практика получения защитных покрытий с помощью ХТО. Минск: ФТИ; Новополоцк: ПГУ, 1999. 133 с.

20. Дорожкин Н.Н., Кузнецов В.В. Плазменное напыление самофлюсующихся сплавов с подогревом подложки // Порошковая металлургия. 1974. № 12. С. 51-56.

References

1. Timokhova O.M., Alekseev A.V., Merkur'eva G.V., Slyadz' N.N., Glushkov V.I. Investigation of corrosion resistance of steel after heat treatment // Materialy IX mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konf. «Severgeokotekh-2008». Ukhta: UGTU, 2008. Ch. 1. P. 254-256.

2. Timokhova O.M. The study of nanomaterials at surface hardening of parts forestry equipment // Sistema. Metody. Tekhnologii. 2012. № 4 (6). P. 29-31.

3. Timokhova O.M. Hydrogen embrittlement of steel // Sb. nauch. tr. po itogam mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii: «Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii»: sb. nauch. tr. po itogam nauchno- prakt. konf. Bryansk, 2010. Vyp. 12. P. 120-122.

4. Timokhova O.M., Shol' N.R., Koptyaeva G.B. Monitoring of corrosion destruction of designs of machinery and equipment industry // Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa: materialy mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. Vologda, 2010. P. 225-228.

5. Timokhova O.M. Peculiarities of the corrosion in sub-zero temperatures // Materialy IX mezhdunar. molodezh. nauch. konf. «Severgeokotekh-2008». Ukhta, 2008. Ch. 1. P. 256-258.

6. Timokhova O.M., Shol' N.R., Koptyaeva G.B. Prospects of use of thermal spraying for the recovery of machine parts // Resursoberegayushchie tekhnologii remonta, vosstanovleniya i uprochneniya detalei mashin, mekhanizmov, oborudovaniya, instrumenta i tekhnologicheskoi osnastki ot nano- do makrourovnya: materialy 12-i mezhdunar. nauchno-prakt. konf. SPb., 2010. Ch.1. P. 217-220.

7. Timokhova O.M., Shol' N.R., Koptyaeva G.B. Improving the corrosion resistance of processing equipment and machine parts // Scientific and Technical Volga region Bulletin. 2011. № 3. P. 141-144.

8. Timokhova O.M. Improving the corrosion resistance of parts logging machines: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Ioshkar-Ola, 2013. 22 p.

9. David E.J., James D.R. Corrosion science and technology. CRC Press, 2010. 432 p.

10. Davis J.R. Corrosion: understanding the basics. ASM International, 2000. 563 p.

11. Fontana M.O. Corrosion engineering. Tata McGraw-Hill, 2005. 556 p.

12. Khanna A.S. Introduction to high temperature oxidation and corrosion. N.Y.: ASM Int., 2002. 393 p.

13. Philippe M. Corrosion mechanisms in the theory and practice. N.Y., 2002. 768 p.

14. Baldaev L.Kh. Renovation and strengthening of machine parts by methods of thermal spraying. M., 2004. 134 p.

15. Practice and prospects of application of protective coatings on parts and units of submersible centrifugal pumps [Elektronnyi resurs]. URL. <http://www.tspc.ru/about/lit/cns/> (data obrashcheniya: 14. 05. 2016).

16. Montgomeri D.K. Design of experiments and data analysis: per. s angl. L.: Sudostroenie, 1980. 384 p.

17. Borisov Yu.S., Kharlamov Yu.A., Sidorenko S.L., Ardatovskaya E.N. Gas-thermal coatings from powder materials. Kiev: Naukova dumka, 1987. 544 p.

18. Borodin I.N. Hardening of composite coatings. M.: Mashinostroenie, 1982. 141 p.

19. Voroshnin L.G., Pantelienko F.I., Konstantinov V.M. Theory and practice of protective coatings using HTO. Minsk: FTI; Novopolotsk: PGU, 1999. 133 p.

20. Dorozhkin N.N., Kuznetsov V.V. Plasma spraying of self-fluxing alloys heated substrates // Poroshkovaya metallurgiya. 1974. № 12. P. 51-56.