

Для цитирования: Петровский В.А., Рубан А.Р., Саламех А. Некоторые результаты испытаний образцов на абразивный износ. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017; 44 (4): 40-48. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-4-40-48

For citation: Petrovsky V.A., Ruban A.R., Salamekh A. Some sample test results for abrasive wear. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (4): 40-48. (in Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-4-40-48

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ МЕХАНИКА

УДК 620.178.16:621.879.45.064.004.62

ББК 34.413.2-01:38.623.034.5-046

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-4-40-48

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ОБРАЗЦОВ НА АБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС

Петровский В.А.³, Рубан А.Р.¹, Саламех А.²

¹⁻³ Астраханский государственный технический университет,

¹⁻³ 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, Россия,

¹e-mail: ²a.ruban1974@mail.ru, ²e-mail: a.salameh@mail.ru,

³e-mail: v_a_petrovsky@mail.ru

Резюме. Цель. Надежность работы земснаряда в высокой степени зависит от работоспособности рабочего органа – черпаковой цепи, которая подвержена высоким динамическим нагрузкам, значительная часть которой приходится на шарнирное соединение. Износ узла крепления черпаковой цепи осложнён попаданием в зазор абразивных частиц. С учетом данных обстоятельств целью и задачами исследования являются: повышение износостойкости материалов узла крепления черпаковой цепи, имеющего абразивную составляющую общего процесса разрушения; определение стойкости абразивному изнашиванию исследуемых материалов; анализ результатов испытаний и рекомендации для повышения надежности и работоспособности узла соединения. **Метод.** Сравнительные испытания на абразивный износ образцов изготовленных по заводским технологиям материалов узла из сталей 38ХНЗМА, 110Г13Л с образцами: стали 38ХНЗМА, 110Г13Л с изменённой технологией изготовления; наплавкой электродами Э-50-УОНИ 13/55 с последующим упрочнением и без него; наплавкой электродами Э-190Х5С7-ЛЭЗ-Т-590-НГ без упрочнения и с поверхностно-пластическим деформированием. Образцы испытывались на истирание о закреплённые абразивные частицы под давлением 27,3 кПа и 47,4 кПа. **Результат.** Получены характеристики абразивостойкости образцов из: 1. Сталей 38ХНЗМА, 110Г13Л, изготовленных по технологии завода и принятые за эталон; 2. Сталей 38ХНЗМА после закалки и низкого отпуска; 3. Сталей 110Г13Л после закалки и поверхностно-пластического деформирования; 4. Наплавки электродами Э-50-УОНИ 13/55 без упрочнения; упрочнённые поверхностно-пластическим деформированием; упрочнённые цементацией, закалкой и низким отпуском; 5. Наплавки электродами Э-190Х5С7-ЛЭЗ-Т-590-НГ без упрочнения; с упрочнением поверхностно-пластическим деформированием. Построены графики зависимостей износов массового Δm и линейного Δl , относительной износостойкости I_m , I_l от твёрдости. **Вывод.** Изменение и дополнение заводских технологий деталей узла из сталей 38ХНЗМА, 110Г13Л повысит износостойкость пары трения. Восстановление изношенных пальцев наплавкой электродами Э-50-УОНИ 13/55 с последующей цементацией, закалкой и низким отпуском можно рекомендовать к применению в эксплуатации. Наплавка электродами Э-190Х5С7-ЛЭЗ-Т-590-НГ с последующим поверхностно-пластическим деформированием значительно повысит износостойкость восстановленных пальцев.

Ключевые слова: земснаряд, черпаковая цепь, палец – втулка, износ, износостойкость, испытания на износ

PHYSICAL-MATEMATICAL SCIENCE MECHANICS

SOME SAMPLE TEST RESULTS FOR ABRASIVE WEAR

Valeri A. Petrovsky³, Anatoliy R. Ruban¹, Ali Salamekh²

¹⁻³Astrakhan State Technical University,

¹⁻³16 Tatishcheva Str., Astrakhan 414056, Russia,

¹e-mail: ²a.ruban1974@mail.ru, ²e-mail: a.salameh@mail.ru,

³e-mail: v_a_petrovsky@mail.ru

Abstract. Objectives In general, the reliability of dredgers is highly dependent on the performance of the scoop chain, a working body that is subject to high dynamic loads, a significant part of which falls on the swivel. The wear of the scoop chain swivel is complicated by the ingress of abrasive particles into the gap. Aims and tasks: increasing the wear resistance of the scoop chain swivel having an abrasive component of the general destruction process; determination of the abrasive wear durability of test materials; analysis of test results and recommendations for improving the reliability and efficiency of the swivel. **Methods** Comparative tests for the abrasive wear of samples manufactured according to proprietary technologies for the assembly of parts from 38HN3MA and 110G13L steels; samples manufactured from 38HN3MA and 110G13L steels using a modified manufacturing technology; surfacing using E-50-UONI 13/55 electrodes followed by subsequent hardening and without it; surfacing using E-190H5S7-LEZ-T-590-NG electrodes without hardening and with surface-plastic deformation. The samples were tested for abrasion against fixed abrasive particles at pressures of 27.3 kPa and 47.4 kPa. **Results** The abrasion resistance characteristics are obtained for samples: (1) made of 38HN3MA, 110Г13Л steels, manufactured by the factory technology and adopted as the standard; (2) made of 38HN3MA steel after quenching and low tempering; (3) made of 110G13L steel after quenching and surface-plastic deformation; (4) after surfacing using E-50-UONI 13/55 electrodes without hardening, hardened by surface-plastic deformation and hardened by carburising, quenching and low tempering; (5) after surfacing using E-190H5S7-LEZ-T-590-NG electrodes without hardening and with hardening by surface-plastic deformation. The dependences of the mass Δm and the linear Δl abrasions, as well as the relative wear resistance I_m , I_l on the hardness, are plotted. **Conclusions** Changing and supplementing the factory technologies of the swivel details manufactured from 38HN3MA and 110G13L steels will increase the wear resistance of the friction pair. Restoration of worn fingers by surfacing using E-50-UONI 13/55 electrodes with subsequent carburising, quenching and low tempering can be recommended for use in operation. Surfacing using E-190H5S7-LEZ-T-590-NG electrodes with subsequent surface-plastic deformation will significantly increase the wear resistance of the restored fingers.

Keywords: dredgers, scoop chain, finger bushing, wear, wear resistance, wear tests

Введение. Тема дноуглубления является для Астраханской области одной из проблемных. По данным пресс-службы председателя Правительства региона, заиливание рек и каналов ведет не только к ухудшению экологической ситуации, но и создает трудности для судоходства. При этом выполнять плановые дноуглубительные работы в полном объеме и своевременно не удастся из-за нехватки специализированной техники. В 2015 году работы по дноуглублению были выполнены лишь на 76%: техника часто выходила из строя, требовала ремонта и не была заменена [1].

В настоящее время по России эксплуатируется около 75 черпаковых земснарядов. Рабочим органом земснаряда является черпаковая цепь, которая работает в очень сложных условиях, таких как абразивная среда и высокие динамические нагрузки. В узлах шарнирного соединения черпаковой цепи нагрузки превышают предел текучести материала, что приводит к пластической деформации втулок, колец и пальцев. Абразивный износ увеличивает зазор в узле

так, что приводит к изменению траектории движения по роульсам цепи и сходу цепи с верхнего приводного барабана. Во время эксплуатации при работе черпаковой цепи на глинистых и илистых грунтах пальцы меняются с частотой через 3...5 дней, а на песчаных грунтах и за одни сутки. Известно [2], что наличие абразивной прослойки в зазоре соединения увеличивает износ в 4 раза. При интенсивной эксплуатации земснаряда, по окончании навигации, заменяется весь комплект пальцев, втулок и колец на новые. Изношенные детали не восстанавливаются.

Для изготовления деталей узла шарнирного соединения черпаковой цепи [3-4] использовались и в настоящее время применяются стали различного класса 110Г13, Г13ХЗЛ, Г13ТЛ, Г13Ф2Л, 30ХНЗ, 30ХНЗМ, 30ХГСА, 37ХНЗА, 38ХНЗМА, 40ХН2, 50ХГФ, 60С2, ст.6, и другие. С целью замены дорогостоящих и дефицитных сталей проводились испытания со сталью Ст.5 и со сталью 45 с поверхностным борированием и закалкой, используемой для изготовления пальцев черпаковой цепи. При изготовлении таких пальцев, а также и при их восстановлении на рабочие поверхности наплавляли слой абразивостойкими электродами Т-620, а также по крупке феррохрома электродами 12АН/ЛИВТ и УОНИ 13/55. Упрочнения поверхностных слоев добивались термомеханической обработкой и поверхностно-пластическим деформированием (ППД).

Проблема изнашивания в настоящее время актуальна, т.к. по данным [5] общая потеря материала на поверхностях трения при эксплуатации объектов (машин, механизмов, агрегатов) от износа составляет 55%, из которых 25% адгезионного износа, хотя и существует мнение, что абразивному износу может быть приписано около 50% всех проблем, связанных с износом [6-7]. Современным определением износа считается определение, данное в работе [8]. Существует и значительное множество видов абразивных испытаний [9-11].

Также известны многие эффективные критерии износостойкости. Так в работе [12] в качестве критерия принят модуль упругости E , а в работе [13] – комплекс HVa_H , где HV – твердость по Виккерсу, a_H – ударная вязкость.

Более сложный критерий был предложен [14] в виде: $\frac{\sigma_s \cdot e_s}{\sigma_{0,2} \cdot \delta}$ где σ_s - предел прочности, $\sigma_{0,2}$ - предел текучести; e_s - истинная максимальная пластическая деформация; δ - раскрытие трещины. Показано, что последний критерий можно заменить выражением $\frac{e_s}{\delta}$.

Современным критерием, оценивающим изнашивание, является критерий $\sigma_s \psi$ [15-16], имеющий энергетическую природу, где ψ – относительное сужение.

Постановка задачи. Основная цель данного исследования это увеличение долговечности и надёжности главного рабочего органа земснаряда – черпаковой цепи. Задача исследования – устранение повышенного износа втулок, колец и пальцев узла шарнирного соединения из-за попадания абразива в зазор.

Решение задачи находится в изменении существующей технологии изготовления деталей, применении альтернативных материалов (совместно с технологией) и технологий восстановления изношенных деталей.

На основе анализа полученных характеристик износа, привести рекомендации по выбору материала, оптимизации существующей технологии и восстановлению изношенных пальцев. Для этого необходимо установить износостойкость исследуемых материалов. Испытания на абразивный износ будут проводиться на образцах из сталей и наплавов приведённых ниже.

Часть указанного экспериментального исследования и результаты приведены в статье [17]. Материал настоящей статьи дополняет ранний в части большей выборки, а также были рассмотрены некоторые технологии восстановления пальцев.

Методы исследования. При моделировании процесса износа узла соединения черпаковой цепи (рис.1) применена схема трения исследуемого материала на плоскости о закреплённые абразивные частицы (рис. 2).

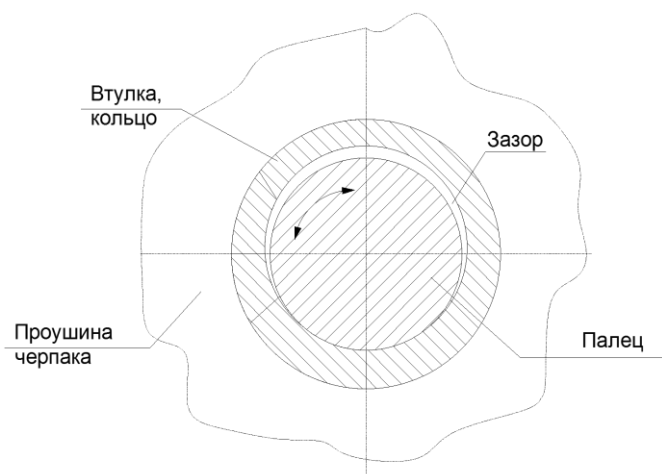


Рис. 1. Узел шарнирного соединения черпака
Fig. 1. Bucket joint assembly



Рис. 2. Принципиальная схема трения стенда
Fig. 2. Schematic diagram of the friction stand

Для прогнозирования интенсивности изнашивания I_h деталей узла [18-19], применялась простейшая линейная модель механизма разрушения $I_h = i_h P_a / HB$, где i_h – масштабный уровень изнашивания; P_a – внешнее давление; HB – твердость материала по Бринеллю.

Для достижения поставленной задачи были изготовлены партии образцов, имеющие форму цилиндров диаметром $d = 15 \pm 0,1$ мм и высотой $h = 7 \dots 8$ мм:

- из стали 38ХНЗМА было изготовлено четыре партии образцов (в каждой партии 3 серии по 3 образца): без изменения структуры; отожженные при температуре 750°C в течение 1 часа и охлажденные вместе с печью; отожженные при температуре 750°C в течение 1 часа и охлажденные вместе с печью, которые в последующем были закалены с температуры 850°C на масло по техническим требованиям завода-изготовителя и отпущенные при температуре 590°C , а четвертая партия – аналогично предыдущей, только отпущенные при 200°C ;
- из стали 110Г13Л было изготовлено две партии образцов: без изменения структуры; закаленные с температуры $1050 \dots 1075^\circ \text{C}$ на воду по техническим требованиям завода изготовителя земснаряда;
- из стали 20, подвергнутых наплавке в 2 слоя электродами Э50-А (УОНИ 13/55) три партии образцов: без упрочнения; упрочненных ППД со степенью деформации поверхности 5,4 %; упрочненных цементацией в твердом карбюризаторе (8 часов) с последующей закалкой (900°C) и низким отпуском при температуре 180°C ;
- из стали 20, подвергнутых наплавке в 2 слоя электродами Э-190Х5С7-ЛЭЗТ-590-НГ две партии образцов: без упрочнения; упрочненных ППД со степенью деформации 4,4%.

Изготовленные образцы крепились в оправку экспериментальной установки и подвергались обязательной притирке торцевой (плоской) поверхностью с целью достижения полного прилегания к поверхности абразивного круга. Затем проводился селективный отбор образцов по высоте. В серии испытывалось по 3 образца, причем их высота не отличалась более чем на 0,1 мм.

Испытания образцов на износ проводились на экспериментальной установке для проведения испытаний материала на изнашивание о закрепленные абразивные частицы с разными нагрузками $P_1 = 27,3$ кПа (эксперимент №1) и $P_2 = 47,4$ кПа (эксперимент №2).

Причем испытания с нагрузкой P_2 проводились на тех же образцах после испытаний под нагрузкой P_1 . Нагрузки на образцы определялись техническими возможностями стенда. До испытаний были проведены измерения высоты, массы, твердости образцов на поверхности трения. Образцы устанавливались в оправку, затем оправка размещалась на плоскости круга. Устанавливался скоростной режим, при котором круг совершал один оборот примерно за 3 секунды. Включался обдув для удаления продуктов износа из зоны трения. По достижении 500

циклов (оборотов) вращение останавливалось. Испытания с нагрузкой P_2 проводились аналогично предыдущим.

Обсуждение результатов. По каждой партии образцов из 9 штук была определена средняя величина линейного, массового износов и изменение твёрдости по каждому эксперименту, которые представлены в таблицах 1 – 3.

Таблица 1. Результаты испытаний на износ при давлении $P = 27,3$ кПа

Table 1. Results of the wear test at a pressure $P = 27.3$ kPa

№ партии	Деталь, марка материала	Состояние образцов	Твёрдость до испытаний	Твёрдость после испытаний	Линейный износ, мм	Массовый износ в граммах
1	Палец, сталь 38ХНЗМА	Вырезаны из пальца	25,0 HRC	26,1 HRC	0,334 ○	0,434 ○
2		Отжиг	30,3 HRC	31,3 HRC	0,291 Δ	0,402 Δ
3		Отжиг, закалка и высокий отпуск по технологии завода-изготовителя	38,3 HRC	41,0 HRC	0,310 □	0,390 □
4		Отжиг, закалка и низкий отпуск	49,6 HRC	53,6 HRC	0,172 ,	0,215 ,
5	Втулка, сталь 110Г13Л	Вырезаны из втулки	81,0 HRB	80,6 HRB	0,108 ●	0,085 ●
6		Закалка по технологии завода-изготовителя	87,8 HRB	86,7 HRB	0,049 ▲	0,082 ▲

Таблица 2. Результаты испытаний на износ при давлении $P = 47,4$ кПа

Table 2. Results of the wear test at a pressure $P = 47.4$ kPa

№ партии	Деталь, марка материала	Состояние образцов	Твёрдость до испытаний	Твёрдость после испытаний	Линейный износ, мм	Массовый износ в граммах
1	Палец, сталь 38ХНЗМА	Вырезаны из пальца	26,1 HRC	25,9 HRC	0,632 ○	0,861 ○
2		Отжиг	31,3 HRC	33,1 HRC	0,695 Δ	0,921 Δ
3		Отжиг, закалка и высокий отпуск по технологии завода-изготовителя	41,0 HRC	40,5 HRC	0,701 □	0,929 □
4		Отжиг, закалка и низкий отпуск	53,6 HRC	54,0 HRC	0,265 ,	0,345 ,
5	Втулка, сталь 110Г13Л	Вырезаны из втулки	80,6 HRB	82,3 HRB	0,169 ●	0,196 ●
6		Закалка по технологии завода-изготовителя	86,7 HRB	86,8 HRB	0,140 ▲	0,180 ▲

Примечание: во всех таблицах за численным значением показателя стоит символ соответствия на рисунках 3-6.

По результатам экспериментов (табл.1, 3) были построены графики зависимости массового и линейного износов от твёрдости материала деталей узла при различных нагрузках (рис.3,5).

Износостойкость, как обратная величина массового и линейного износа, при разных нагрузках, показана в табл. 4. Зависимость износостойкости от твёрдости, более информативно показана на рис. 4 и 6, где при увеличении значения твёрдости, функционально увеличивается износостойкость испытуемого материала.

Измерение твёрдости в экспериментах № 1 и № 2 показали, что она изменилась незначительно, в пределах 1...4 единиц по шкале HRC, как в сторону увеличения, так и снижения. При давлении на образец $P = 27,3$ кПа максимальный линейный и массовый износ был у образцов из стали 38ХНЗМА (партия № 1), имеющие низкую твёрдость (25...26HRC), а минимальный – партия № 4 при твердости 53,6HRC. Самый низкий износ показала сталь 110Г13Л (пар-

тия № 6), изготовленная по техническим требованиям завода земснаряда при твердости поверхности 86...87HRB.

Таблица 3. Результаты испытаний на износ восстановленных наплавкой образцов
Table 3. Results of tests for wear recovered by surfacing samples

№ партии	Материал наплавки	Вид упрочнения	Давление кПа	Твёрдость до испытаний	Твёрдость после испытаний	Линейный износ, Мм	Массовый износ грамм
7	УОНИ 13/55	Без упрочнения	27,3	5,8 HRC	5,5 HRC	0,53 ♦	0,73 ■
8	УОНИ 13/55	Без упрочнения	47,4	5,5 HRC	4,1 HRC	1,01 ♦	1,40 ■
9	УОНИ 13/55	ППД	47,4	17,2 HRC	16,0 HRC	1,05 ♦	1,37 ■
10	УОНИ 13/55	Цементация, закалка, низкий отпуск	47,4	57,3 HRC	63,7 HRC	0,19 ♦	0,27 ■
11	T-590	Без упрочнения	47,4	53,1 HRC	55,0 HRC	0,10 ♦	0,12 ■
12	T-590	ППД	47,4	53,0 HRC	52,4 HRC	0,09 ♦	0,11 ■

Таблица 4. Массовая и линейная износостойкость испытанных образцов
Table 4. Mass and linear wear resistance of tested samples

№ партии	Деталь, марка материала, наплавка	Состояние образцов, вид упрочнения	Нагрузка 27,3 кПа		Нагрузка 47,4 кПа	
			Массовая износостойкость, I_m^{-1} , гр.	Линейная износостойкость, I_l^{-1} , мм	Массовая износостойкость, I_m^{-1} , гр.	Линейная износостойкость, I_l^{-1} , мм
1	Палец, сталь 38ХНЗМА	Вырезаны из пальца	2,30 ○	2,99 ○	1,16 ○	1,58 ○
2		Вырезаны из пальца, отжиг	2,49 Δ	3,44 Δ	1,09 Δ	1,44 Δ
3		Отжиг, закалка и высокий отпуск по технологии завода-изготовителя	2,56 □	3,23 □	1,08 □	1,43 □
4		Отжиг, закалка и низкий отпуск	4,65 ,	5,81 ,	2,90 ,	3,77 ,
5	Втулка, сталь 110Г13Л	Вырезаны из втулки	11,76 ■	9,25 ■	5,10 ■	5,92 ■
6		Закалка по технологии завода-изготовителя	12,20 ▲	20,41 ▲	5,55 ▲	7,14 ▲
7	Наплавка УОНИ 13/55	Без упрочнения	1,37 ■	1,89 ▲	—	—
8	Наплавка УОНИ 13/55	Без упрочнения	—	—	0,71 ■	0,99 ♦
9	Наплавка УОНИ 13/55	ППД	—	—	0,73 ■	0,95 ♦
10	Наплавка УОНИ 13/55	Цементация, закалка, низкий отпуск	—	—	3,70 ■	5,25 ♦
11	Наплавка T-590	Без упрочнения	—	—	8,33 ■	10,00 ♦
12	Наплавка T-590	ППД	—	—	9,09 ■	11,11 ♦

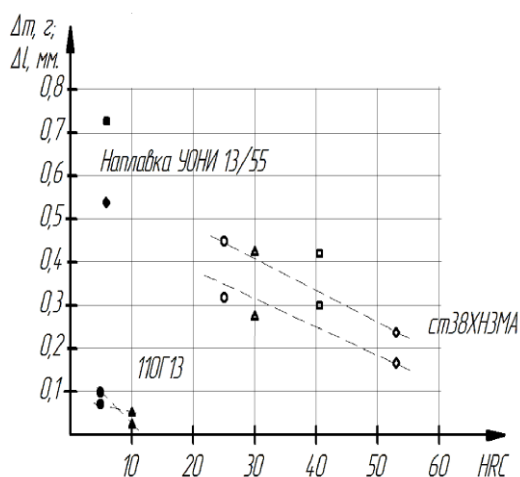


Рис. 3. Зависимость массового и линейного износов от твёрдости материала деталей узла при нагрузке 27,3 кПа

Fig. 3. Dependence of the mass and linear wear on the hardness of the material parts of the assembly at a load of 27.3 kPa

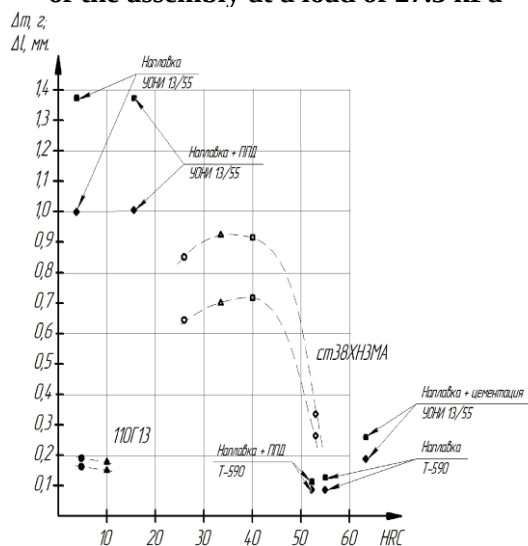


Рис. 5. Зависимость массового и линейного износов от твёрдости материала деталей узла при нагрузке 47,4 кПа

Fig. 5. Dependence of mass and linear wear on the hardness of the material of the parts of the assembly at a load of 47.4 kPa

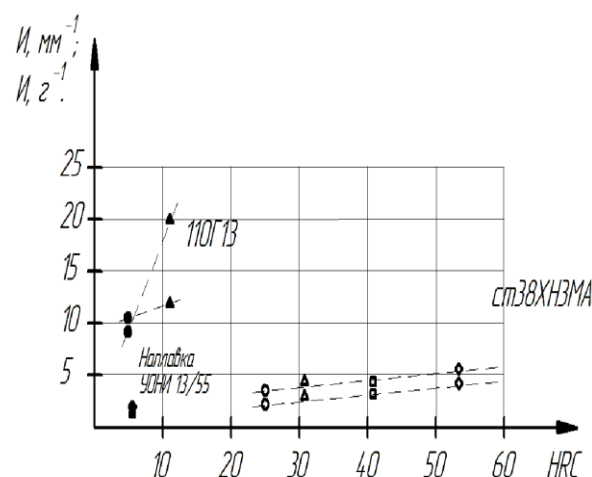


Рис. 4. Зависимость износостойкости от твёрдости материала деталей узла при нагрузке 27,3 кПа

Fig. 4. Dependence of wear resistance on the hardness of the material of the parts of the assembly at a load of 27.3 kPa

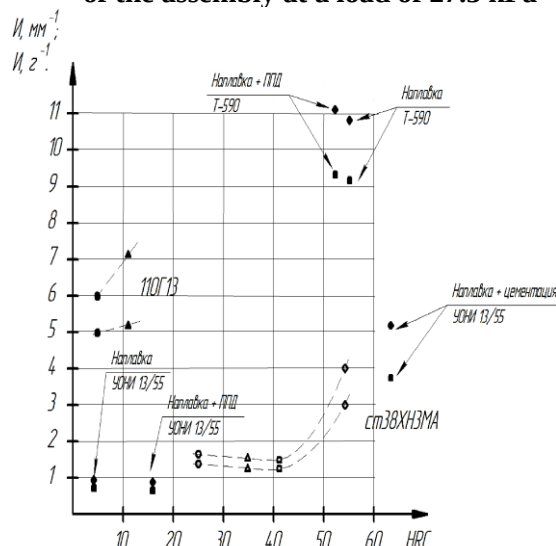


Рис. 6. Зависимость износостойкости от твёрдости материала деталей узла при нагрузке 47,4 кПа

Fig. 6. Dependence of wear resistance on the hardness of the material of the parts of the assembly at a load of 47.4 kPa

При давлении на поверхности образца $P = 47,4$ кПа для стали 38ХН3МА картина зависимости изменилась: с увеличением твёрдости износ увеличивается для образцов из партии № 2 и № 3. И только на образцах партии № 4 износ резко уменьшился в 2,5 раза.

Для образцов из стали 110Г13Л самый малый износ был у тех, которые были изготовлены по техническим требованиям завода-изготовителя. Это самый минимальный износ, при твёрдости 86...87HRB по сравнению со сталью 38ХН3МА, имеющей твердость около 54HRC. В тоже время энергетический критерий σ_{ψ} для стали 110Г13Л по данным [15] (закалка) составил – 36 ГПа, а для стали 38ХН3МА (закалка и высокий отпуск) – 62 ГПа, т.е. для стали 38ХН3МА предполагается более высокая износостойкость. Однако наши исследования показали более высокую надёжность стали 110Г13Л по износу, а низкий показатель критерия можно объяснить отсутствием или слабым деформационным упрочнением сплава в ходе эксперимента. Очевид-

но, что различие в структуре сплавов (аустенитная и перлитная) влияет на сопротивление абразивному изнашиванию.

Вывод. Таким образом, по результатам эксперимента, и на основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Твёрдость в процессе эксперимента практически не изменилась;
2. Сталь 110Г13Л показала самую высокую износостойкость ($I_m^{-1} = 12,20$ гр.; $I_l^{-1} = 20,41$ мм) при невысоких нагрузках (27,3 кПа), если втулка будет изготовлена по технологии завода изготовителя земснаряда. Технология завода при изготовлении деталей из стали 110Г13Л оправдывает максимальную износостойкость. Для повышения абразивной стойкости стали 110Г13Л необходима дополнительная упрочняющая технология обработки давлением, дополняющая технологию завода изготовителя земснаряда;
3. Для деталей из стали 38ХНМ3А, согласно результатам эксперимента, технология завода не оправдывает своё назначение. Сталь 38ХНМ3А показала высокую износостойкость ($I_m^{-1} = 4,65$ гр.; $I_l^{-1} = 5,81$ мм) при нагрузках (27,3 кПа), ($I_m^{-1} = 2,90$ гр.; $I_l^{-1} = 3,77$ мм) при нагрузках (27,3 кПа), если палец будет подвергнут закалке и низкому отпуску. Эта технология термообработки не применяется заводом изготовителем. Целесообразно увеличение твёрдости стали 38ХНМ3А за счёт изменения технологии термообработки пальца;
4. Наплавка УОНИ13/55 без упрочнения и с ППД показала наихудший результат ($I_m^{-1} = 0,71$ гр.; $I_l^{-1} = 0,99$ мм и $I_m^{-1} = 0,73$ гр.; $I_l^{-1} = 0,71$ мм соответственно);
5. Наплавка электродами Э50-А-УОНИ13/55 с последующей цементацией, закалкой и низким отпуском, показала значительное преимущество в износостойкости ($I_m^{-1} = 3,70$ гр.; $I_l^{-1} = 5,25$ мм; 63,7HRC) относительно стали 38ХНМ3А, изготовленной по технологии завода ($I_m^{-1} = 1,08$ гр.; $I_l^{-1} = 1,43$ мм), а также с изменённой технологией (низкий отпуск вместо высокого) ($I_m^{-1} = 2,90$ гр.; $I_l^{-1} = 3,77$ мм; 53,6HRC) при близких показателях твёрдости. Восстановление пальцев из стали 38ХНМ3А можно рекомендовать проводить наплавкой электродами Э50-А-УОНИ 13/55 с последующей химико-термической и (или) термической обработками;
6. Наплавка электродами Э-190Х5С7-ЛЭЗТ-590-НГ имеет самые высокие показатели износостойкости ($I_m^{-1} = 9,09$ гр.; $I_l^{-1} = 11,11$ мм). Наплавка износостойкими электродами Э-190Х5С7-ЛЭЗТ-590-НГ с последующим ППД рекомендована для восстановления пальцев.

Библиографический список:

1. <http://astravolga.ru/problemu-dnougлубitelnnyx-rabot-na-kaspiei-obsudili-v-moskvvet/> Газета ВОЛГА / 10.11.2016.
2. Лукин Н.В. Суда технического флота. М. Машиностроение. 1992. – 335 с.
3. Картышов А.В. Износостойкость деталей земснарядов. Л. Машиностроение. 1972. – 160 с.
4. Донских Д.Ф., Погодаев Л.И. Способы повышения надёжности шарнирного соединения черпаковой цепи дноуглубительных земснарядов.// Трение, износ, смазка.-2010.- Том 13, №44. – с.15-27.
5. Hawk J.A. Wilson R. D., Catrpillar M. T. Abrasive wear failures // ASM Handbook. Materials Park, OH, ASM International. – 2002 (11), 906-921
6. Nutchings I. M. Abrasion in wear and manufacturing processes. Metal. Ital. – 2002(94), N 2, 17-21
7. Canale L. C. F. Abrasive wear resistance of a Fe based hard coating containing Cr and Nb // 20th ASM Heat Treating Society Conf. St. Louis, MO USA. – 2000, 9-12
8. Gates J. D., Gore G. J. Wear of Metals: Philosophies and Practicalities. Mater. Forum. – 1995 (19), 53-89
9. Hawk J. A. Abrasive wear testing // ASM Handbook. Materials Park, OH, ASM International. – 2000 (8), 323-337
10. Zanoria E.S. Application of the ring-on-ring test for abrasive wear modeling of rolling undercarriage components in track-type machines // Wear. – 2004 (257), N 1-2, 205-214
11. Stachowiak G. W., Stachowiak G. B. Wear mechanism in ball-cratering test with large abrasive particles// Wear. – 2004 (256), N 6, 600-607
12. Хрущёв М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. М.: Наука, 1970. – 252 с.
13. Козырев С.П. Гидроабразивный износ при кавитации. М.: Машиностроение, 1971. – 240 с.
14. Сущенко С.А. Ударно-абразивный износ и механические свойства наплавочных материалов // Проблемы трения и изнашивания.-1990- вып.37 – с. 34-38.
15. Сорокин Г.М., Малышев В.Н. Аспекты металловедения в природе механического изнашивания// Трение и износ. - 2005 – Т 26-№6.- с. 598-607.
16. Сорокин Г.М. Трибология сталей и сплавов. М.: Недра – 2000- 317 с.
17. Петровский В.А., Рубан А.Р. Результаты исследования абразивного износа деталей черпаковой цепи

земснаряда / Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Морская техника и технология. – Астрахань: Издательство АГТУ. – 2014. – № 1. – С. 94 – 99.

References:

1. <http://astravolga.ru/problemu-dnougubitelnix-rabot-na-kaspri-obsudili-v-moskvet/> Gazeta VOLGA. 10.11.2016. [<http://astravolga.ru/problemu-dnougubitelnix-rabot-na-kaspri-obsudili-v-moskvet/> VOLGA newspaper. 10.11.2016. (In Russ.)]
2. Lukin N.V. Suda tekhnicheskogo flota. M.: Mashinostroyeniye; 1992. 335 s. [Lukin N.V. Vessels of the technical fleet. M.: Mashinostroyeniye; 1992. 335 p. (In Russ.)]
3. Kartyshev A.V. Iznosostoikost' detalei zemsnyaryadov. L.: Mashinostroyeniye; 1972. 160 s. [Kartyshev A.V. Wear resistance of dredge parts. L.: Mashinostroyeniye; 1972. 160 p. (In Russ.)]
4. Donskikh D.F., Pogodaev L.I. Sposoby povysheniya nadezhnosti sharnirnogo soedineniya cherpakovoi tsepi dnougubitelnix zemsnyaryadov. Treniye, iznos, smazka. 2010;13(44):15-27. [Donskikh D.F., Pogodaev L.I. Ways to increase the reliability of the articulation of dredger scoop chain. Treniye, iznos, smazka. 2010;13(44):15-27. (In Russ.)]
5. Hawk J.A., Wilson R.D., Catpillar M.T. Abrasive wear failures. ASM Handbook. Materials Park, OH, ASM International. 2002 (11):906-921.
6. Nutchings I.M. Abrasion in wear and manufacturing processes. Metal. Ital. 2002;94(2):17-21.
7. Canale L.C.F. Abrasive wear resistance of a Fe based hard coating containing Cr and Nb. 20th ASM Heat Treating Society Conf. St. Louis, MO USA. 2000:9-12.
8. Gates J.D., Gore G.J. Wear of Metals: Philosophies and Practicalities. Mater. Forum. 1995(19):53-89.
9. Hawk J.A. Abrasive wear testing. ASM Handbook. Materials Park, OH, ASM International. 2000(8):323-337.
10. Zanolini E.S. Application of the ring-on-ring test for abrasive wear modeling of rolling undercarriage components in track-type machines. Wear. 2004;257(1-2):205-214.
11. Stachowiak G.W., Stachowiak G.B. Wear mechanism in ball-cratering test with large abrasive particles. Wear. 2004;256(6):600-607.
12. Khrushchev M.M., Babichev M.A. Abrazivnoye iznashivaniye. M.: Nauka; 1970. 252 s. [Khrushchev M.M., Babichev M.A. Abrasive wear. M.: Nauka; 1970. 252 p. (In Russ.)]
13. Kozyrev S.P. Gidroabrazivnyi iznos pri kavitatsii. M.: Mashinostroyeniye; 1971. 240 s. [Kozyrev S.P. Hydroabrasive wear during cavitation. M.: Mashinostroyeniye; 1971. 240 p. (In Russ.)]
14. Sushchenko S.A. Udarno-abrazivnyi iznos i mekhanicheskiye svoystva naplavochnykh materialov. Problemy treniya i iznashivaniya. 1990;37:34-38. [Shock-abrasive wear and mechanical properties of surfacing materials. Problems of friction and wear. 1990;37:34-38. (In Russ.)]
15. Sorokin G.M., Malyshev V.N. Aspekty metallovedeniya v prirode mekhanicheskogo iznashivaniya. Treniye i iznos. 2005;26(6):598-607. [Sorokin G.M., Malyshev V.N. Aspects of metal science in the nature of mechanical wear. Friction and wear. 2005;26(6):598-607. (In Russ.)]
16. Sorokin G.M. Tribologiya staley i splavov. M.: Nedra; 2000. 317 s. [Sorokin G.M. Tribology of steels and alloys. M.: Nedra; 2000. 317 p. (In Russ.)]
17. Petrovskiy V.A., Ruban A.R. Rezul'taty issledovaniya abrazivnogo iznosa detalei cherpakovoi tsepi zemsnyaryada. Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Morskaya tekhnika i tekhnologiya. 2014;1:94-99. [Petrovskiy V.A., Ruban A.R. Results of the research of abrasive wear of details of dredger scoop chain. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies. 2014;1:94-99. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Петровский Валерий Александрович – старший преподаватель, кафедра судостроения и энергетических комплексов морской техники.

Рубан Анатолий Рашидович – кандидат технических наук, доцент, кафедра судостроения и энергетических комплексов морской техники.

Саламех Али – кандидат технических наук, доцент, кафедра судостроения и энергетических комплексов морской техники.

Information about the authors:

Valeri A. Petrovsky – Senior Lecturer, Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering.

Anatoliy R. Ruban – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering.

Ali Salamekh – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Shipbuilding and Power Complexes of Marine Engineering.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 01.10.2017.

Принята в печать 11.11.2017.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 01.10.2017.

Accepted for publication 11.11.2017.