

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ КРЕПЕЖНЫХ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УЗЛАМ, РАБОТАЮЩИМ ПРИ ВЫСОКОМ ДАВЛЕНИИ В УСЛОВИЯХ МОРСКОГО КЛИМАТА

К.И. Недашковский¹

nedashkovskii_ki@npoem.ru

А.В. Гульшин¹

gulshin_av@npoem.ru

Ю.М. Аверина²

averinajm@mail.ru

В.А. Наумкина²

vikunya_n1996@mail.ru

В.В. Меньшиков²

vm_uti@muctr.ru

В.С. Болдырев³

boldyrev.v.s@bmstu.ru

¹ АО «НПО «Энергомаш» имени академика В.П. Глушко»,
г. Химки, Московская обл., Российская Федерация

² РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, Российская Федерация

³ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Приведены результаты исследований и разработки технологии изготовления заготовок крепежа из стали 07X16H6-Ш с применением высокотемпературной термомеханической обработки, апробирована модификация указанной стали — сталь марки 07X16H6M-Ш, дополнительно легированная молибденом, что способствует измельчению зерна. Реализованы ускоренные климатические испытания болтов с целью оценить стойкость крепежа к коррозионному растрескиванию в условиях морского климата из сталей марок 07X16H6-Ш, 07X16H6M-Ш и 13X15H4AM3-Ш

Ключевые слова

Коррозионное растрескивание, крепежные детали, морской климат, термообработка, коррозионно-стойкая сталь, болты

Поступила 05.04.2019

Принята 10.07.2019

© Авторы, 2020

Введение. Высокопрочные коррозионно-стойкие стали переходного и мартенситного класса марок 07X16H6-Ш и 13X15H4AM3-Ш благодаря сочетанию высокой прочности и пластичности нашли широкое применение в ответственных изделиях, работающих в общеклиматических условиях и морском климате [1]. В связи со склонностью данных сталей к замедленному разрушению крепежные детали затягиваются с усилием не более 0,45 условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ [2].

В высоконагруженных узлах особого назначения, кратковременно работающих в общеклиматических условиях при высоком давлении, с повышенными требованиями по герметичности, крепежные детали затягиваются с усилием затяжки до 0,9 $\sigma_{0,2}$. Учитывая близость к условному

пределу текучести, усилие затяжки контролируется ультразвуковым методом [2, 3]. Для прохождения ультразвукового сигнала размер зерна материала крепежа должен быть не более 5 баллов по ГОСТ 5639–82 [4–7]. В связи с этим разработана технология изготовления заготовок крепежа из стали 07X16H6-Ш с применением высокотемпературной термомеханической обработки (ВТМО), обеспечивающая получение требуемой мелкозернистой структуры. Кроме того, была апробирована модификация стали 07X16H6-Ш — сталь марки 07X16H6M-Ш, дополнительно легированная молибденом.

Для расширения области хранения и эксплуатации изделий возникла необходимость оценки стойкости крепежных деталей: из стали 07X16H6-Ш, изготовленных по стандартной технологии и с применением ВТМО, из стали марок 07X16H6M-Ш и 13X15H4AM3-Ш в условиях морского климата.

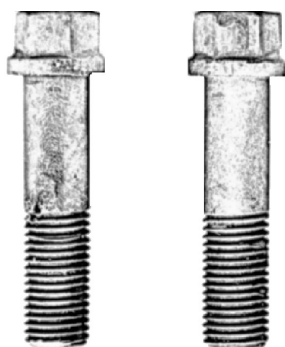
Наиболее жесткие условия эксплуатации относятся к крепежным элементам двигателей, которые могут до 60 суток в году подвергаться непосредственному воздействию морской атмосферы [8–10]. Такие условия эксплуатации соответствуют категории агрессивности «высокая–очень высокая» для конструкционных сталей [8, 11–13].

В целях оценки стойкости крепежа к коррозионному растрескиванию в условиях морского климата при высоком уровне напряжений 0,7–0,9 $\sigma_{0,2}$ были проведены ускоренные климатические испытания болтов из сталей марок 07X16H6-Ш, 07X16H6M-Ш и 13X15H4AM3-Ш.

Методика испытаний и материалы. Коррозионные испытания болтов проводились в камере соляного тумана КСТ-35 [14] при температуре (35 ± 2) °С распылением 5%-ного раствора NaCl (рН 6,8–7,2) в течение 5 мин через каждые 25 мин. Режим работы КСТ-35 круглосуточный, продолжительность испытаний 30 суток. Условия испытаний соответствовали международному стандарту ISO–9227 «Коррозионные испытания в искусственном климате. Методы соляных туманов» и ГОСТ 9.308–85 «Методы ускоренных испытаний на атмосферную коррозию».

По сравнению с нормами в среде высшей категории агрессивности C₅ по ISO–9223 коэффициент ускорения общей коррозии в камере соляного тумана КСТ-35 в 10–20 раз больше для конструкционных сталей и в 10 раз больше по коррозионному растрескиванию коррозионно-стойких сталей по сравнению с морским климатом (Куба) [8].

Таким образом, при положительных результатах испытаний по ускоренному методу обеспечивается высокий коэффициент надежности исследуемых материалов.



Болты для проведения испытаний

Для испытаний в соответствии с эскизом (рисунок) были изготовлены болты.

Материал болтов. Химический состав материала болтов и сортамент исходных прутков приведены в табл. 1 и 2 [15, 16].

Для оценки стойкости к коррозионному растрескиванию в условиях морского климата болты изготовлены по различным технологическим маршрутам (см. табл. 2): с применением ВТМО (№ 16-1); со стандартной для стали 07X16H6-III термической обработкой (№ 16-2 и № 16-3), закаленные на верхнем и нижнем температурном интервале режима закалки; со стандартной для стали марок 07X16H6M-III и 13X15H4AM3-III термической обработкой. Механические свойства и размеры зерна приведены в табл. 3.

Таблица 1

Химический состав материала болтов

Номер образца	Марка стали	Номер плавки	Содержание элементов, %								
			C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo
16-1	07X16H6-III	538917	0,067	0,36	0,5	0,023	0,006	7,1	17,5	0,16	0,09
16-2, 16-3	07X16H6-III	537575	0,052	0,25	0,58	0,014	0,01	6,65	16,4	0,4	0,06
16-M	07X16H6M-III	521977	0,07	0,4	–	0,005	0,007	5,5	16,5	–	0,4
31	13X15H4AM3-III	655816	0,13	0,82	0,17	0,03	0,012	4,7	14,3	–	2,8

Материал гаек, шайб и втулок для болтов выбирали, исходя из реальных стыков узлов изделий. Гайки, шайбы и втулки для имитаторов, затянутых с усилием $0,7 \sigma_{0,2}$, были изготовлены из поковок стали 06X15H6MBФБ-III, термически обработанных по стандартному для данной стали режиму, с отпуском при $520 \text{ }^\circ\text{C}$. Втулки для болтов, затянутых с усилием $0,7 \sigma_{0,2}$, были изготовлены из прутков $\varnothing 35$ мм стали 07X16H6-III, термически обработанных по стандартному для данной стали режиму, с отпуском при $250 \text{ }^\circ\text{C}$.

На всю поверхность болтов из сталей марок 07X16H6-III и 07X16H6M-III наносили суспензию для образования твердого смазочного покрытия (ТСП) ВНИИ НП-213А с обжигом при $280 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таблица 2

Технологический маршрут изготовления болтов

Номер образца	Марка стали	Технологический маршрут
16-1	07X16Н6-Ш плавка 538917 Ø80 мм → Ø40 мм	Отжиг → обезводоряживающий отпуск → ковка на молоте до диаметра 40 мм с контролируемой температурой конца деформации, с охлаждением в воде → обработка холодом → отпуск при 250 °С → механическая обработка → накатка резьбы
16-2	07X16Н6-Ш плавка 537575 Ø22 мм	Отжиг → обезводоряживающий отпуск → закалка 990 °С, выдержка в течение 35 мин, охлаждение в воде → обработка холодом → отпуск при 250 °С → механическая обработка → накатка резьбы
16-3	07X16Н6-Ш плавка 537575 Ø22 мм	Отжиг → обезводоряживающий отпуск → закалка 1000 °С, выдержка в течение 60 мин, охлаждение в воде → обработка холодом → отпуск при 250 °С → механическая обработка → накатка резьбы
16-М	07X16Н6М-Ш плавка 521977 Ø18 мм	Отжиг → обезводоряживающий отпуск → закалка 1000 °С, выдержка в течение 60 мин, охлаждение в воде → обработка холодом → отпуск при 250 °С → механическая обработка → накатка резьбы
31	13X15Н4АМ3-Ш плавка 6553816 Ø22 мм	Отжиг → обезводоряживающий отпуск → закалка 1070 °С, выдержка в течение 45 мин, охлаждение в масле → обработка холодом → отпуск при 350 °С → механическая обработка → нарезка резьбы → отпуск при 200 °С

Таблица 3

Механические свойства материала болтов

Номер образца	Марка стали	Номер плавки	Механические свойства										Размер зерна, балл
			0,9 $\sigma_{0,2}$ кГС/мм ²	0,7 $\sigma_{0,2}$ кГС/мм ²	δ , %	ψ , %	a^{-196}	a^{+20}	HRC				
16-1	07X16H6-Ш	538917	135,5	107,8	16	63,7	8,1	-	40	7, 8			
			138,6	112,6	18	64	10,7						
			138,1	112,9	16	63,7	12,1						
			135,7	114,9	14	63,2	10,6						
16-2	07X16H6-Ш	537575	123	109,3	17,2	68,6	19,6	-	38	5, 6 единичные 4			
			125,8	110,4	16,8	68,3	18,9						
16-3	07X16H6-Ш	537575	123,2	110,5	16,4	68	18,5	-	38	4, 5			
			124,2	109,5	18,4	68,6	18,5						
16-М	07X16H6М-Ш	521977	125,8	100,9	18	66,4	-	38	5				
Требования КД и ОСТ 92-1311-77, КС110-Л			110	90	12	55	4	9	30-49	не крупнее 5			
31	13X15H4AM3-Ш	655816	148,6	139,7	12,8	61	-	42	13,8 14,9	4, 5			
			153,6	141,8	14,8	62,2							
Требования КД и ОСТ 92-1311-77, КС 135			138	92	15	55		10	41-46	-			

Болты крепили на герметике марки УНИГЕРМ-5 с отвердителем, который нанесен на резьбу болтов.

Часть болтов с усилием затяжки $0,9 \sigma_{0,2}$ дополнительно покрывали снаружи двухслойным лакокрасочным покрытием (ЛКП) марки КО-864 для защиты выступающей части болтов и внешней поверхности втулок от коррозии.

Сборку болтовых соединений производили с усилием (в долях минимального значения $\sigma_{0,2}$ по КД):

- $0,7 \sigma_{0,2}$ (63 кгс/мм^2) и $0,9 \sigma_{0,2}$ (81 кгс/мм^2) для стали 07X16H6-Ш;
- $0,7 \sigma_{0,2}$ ($64,4 \text{ кгс/мм}^2$) и $0,9 \sigma_{0,2}$ ($82,8 \text{ кгс/мм}^2$) для стали 13X15H4AM3-Ш.

Усилия в болтах контролировали акустическим методом в соответствии с техническими условиями 00.0357.0032.0000.00.ОТУ и утвержденными градуировочными таблицами.

Проведение испытаний. Болтовые соединения подвешивали на рейках, закрепленных в специальных рамках таким образом, чтобы они находились в слегка наклонном состоянии. Рамки помещали в КСТ-35 на 30 суток. Болтовые соединения из стали марок 07X16H6-Ш и 13X15H4AM3-Ш через 12 суток были сняты для промежуточного осмотра и контроля усилия затяжки методом УЗК (болтовые соединения с ЛКП марки КО-864 методом УЗК не контролировали).

После проведения УЗК болтовые соединения вновь помещали в КСТ-35 для продолжения испытаний. Болтовые соединения из стали 07X16H6M-Ш испытывали без промежуточного контроля в течение 30 суток.

После окончания испытаний все болтовые соединения были сняты, промыты, высушены, визуально осмотрены и прошли УЗК-контроль. Затем их развинтили, продукты коррозии и герметик частично удалили обдувкой электрокорундом, а с болтов из стали 13X15H4AM3-Ш — протиркой ветошью. После очистки на всех болтах была проведена цветная дефектоскопия в целях выявления трещин и глубоких язв. Некоторые болты и втулки были разрезаны по месту коррозионных поражений, из них изготовлены шлифы для проведения металлографического анализа структуры материала и глубины коррозионных поражений.

Результаты испытаний. После выдержки образцов в КСТ-35 в течение 12 суток экспериментально установлено следующее:

- на механически обработанных поверхностях болтов из стали 13X15H4AM3-Ш, на торцах болтов из стали 07X16H6-Ш, а также на механически обработанных поверхностях втулок из стали марок 07X16H6-Ш и 06X15H6MBФБ-Ш коррозионные поражения отсутствовали;

– на гранях головок, боковых поверхностях буртиков, открытых участках резьбы болтов из стали 07X16H6-Ш, покрытых ТСП (ВНИИНП-213), и втулках из стали 07X16H6-Ш на их механически не обработанных поверхностях с окалиной имелись незначительные продукты коррозии.

После выдержки болтовых соединений в течение 30 суток в КСТ-35 при визуальном осмотре выявлено, что на всех болтовых соединениях имеются значительные продукты коррозии. В основном они сосредоточены:

- на механически не обработанных боковых поверхностях с окалиной втулок из стали 07X16H6-Ш;
- на механически не обработанных (после горячей деформации, термообработки и обдувки электрокорундом) боковых поверхностях буртиков болтов из стали 07X16H6-Ш;
- на выступающих частях резьбы на всех болтах;
- в щелевых зазорах всех болтовых соединений: под головками болтов, гайками и шайбами.

После разборки болтовых соединений определили, что щелевая коррозия в виде язв сосредоточена под головками болтов из сталей 07X16H6-Ш и на торцевых поверхностях втулок из стали марок 07X16H6-Ш и 06X15H6MBФБ-Ш.

Коррозионные язвы на торцах втулок располагались цепочкой по окружности или в виде тонких разорванных колец. Максимальная глубина язв достигала 0,27 мм.

Аналогичные язвы были под головками болтов из стали 07X16H6-Ш, при этом коррозионные поражения отсутствовали на болтах из стали марок 13X15H4AM3-Ш и 07X16H6M-Ш.

Отсутствие щелевой коррозии под головками болтов из стали 13X15H4AM3-Ш можно объяснить отсутствием ТСП, низкой шероховатостью поверхности после шлифовки, а под головками болтов из стали 07X16H6M-Ш — легированием молибденом, а также, возможно, меньшим количеством примесей фосфора.

Отметим, что обдувка деталей из коррозионно-стойкой стали с последующим нанесением ТСП (ВНИИНП-213) снижает общую коррозионную стойкость, что неоднократно наблюдалось в эксплуатации.

Щелевая коррозия под головками болтов отсутствовала или была незначительной (отдельные точки без глубины) на болтовых соединениях, защищенных двухслойным ЛКП (КО-864).

Методом капиллярной дефектоскопии всей поверхности (кроме резьбы) болтов из всех материалов, затянутых на $0,7 \sigma_{0,2}$ и $0,9 \sigma_{0,2}$, трещин не

выявлено. Металлографический анализ шлифов, изготовленных по резьбе вдоль оси болта, подтвердил отсутствие трещин.

Металлографическим анализом установлено, что структура болтов из стали марок 13X15H4AM3-Ш, 07X16H6M-Ш и 07X16H6-Ш, прошедших стандартный режим термической обработки и режим совмещенной горячей деформации и закалки, соответствует нормально упрочненному состоянию. Карбидная сетка отсутствует. Разорванная карбидная сетка выявлена только на термически обработанных втулках из стали 07X16H6-Ш.

Результаты определения усилия затяжки после испытаний болтовых соединений в КСТ-35 в течение 12 и 30 суток показали, что практически на всех болтах фактические усилия затяжки, выраженные в долях предела текучести сталей, меньше расчетных и не превышают $0,8 \sigma_{0,2}$. Уменьшение усилий затяжки на всех болтовых соединениях не зависело от уровня затяжки. Следует отметить возрастающую погрешность повторного контроля усилия затяжки после ускоренных климатических испытаний (УКИ) из-за ухудшения состояния торцевых поверхностей болтов после УКИ, изменения величины t_0 из-за удлинения болтов и наличия двух измеряемых величин t_k и t'_k в расчете осевого усилия болта. Таким образом, к результатам проведенного контроля усилия затяжки следует относиться как к оценочным.

На основании проведенных исследований можно сказать, что при напряжении $0,8 \sigma_{0,2}$ коррозионное растрескивание болтов отсутствовало в течение заданного срока испытаний.

Выводы. 1. Все болты выдержали испытания на коррозионное растрескивание в течение 30 суток при всех уровнях напряжения (до $0,9 \sigma_{0,2}$).

2. На болтовых соединениях, прошедших УКИ в течение 30 суток, была выявлена:

– общая коррозия на механически не обработанных поверхностях (после горячей деформации и термической обработки с последующей обдувкой электрокорундом) и на механически обработанных поверхностях (с последующей обдувкой электрокорундом и нанесением ТСП);

– коррозия в щелевых зазорах на деталях из сталей всех марок, не защищенных герметиком.

3. Лакокрасочное двухслойное покрытие (КО-864) и герметик защищают от общей коррозии. На участках резьбы с нанесенным герметиком, на поверхностях болтовых соединений с ЛКП общая коррозия отсутствует. Лакокрасочное покрытие временно защищает щелевые зазоры и резьбу.

4. Сталь 07X16H6M-III имеет более высокую коррозионную стойкость к щелевой коррозии по сравнению со сталью 07X16H6-III, термически обработанной по трем различным вариантам.

5. С течением времени после затяжки болтов происходит плавное снижение усилия затяжки при уровнях напряжений от $0,7 \sigma_{0,2}$ до $0,9 \sigma_{0,2}$ вследствие релаксации напряжений, что неоднократно наблюдалось при эксплуатации ЭУ и не связано с воздействием коррозионной среды.

Рекомендации. 1. В целях повышения коррозионной стойкости, устранения карбидной сетки и обеспечения мелкозернистой структуры для изготовления высоконагруженных узлов изделий, работающих в условиях морского климата, рекомендуется использовать сталь марки 07X16H6M-III вместо марки 07X16H6-III.

2. Для получения мелкозернистой структуры и улучшения механических свойств допускается изготавливать заготовки крепежных деталей методом ВТМО, без закалки.

3. Рекомендуется усилить антикоррозионную защиту болтовых соединений от щелевой и общей коррозии дополнительным нанесением смазочного материала СК-1 или состава ЗВВС для защиты щелей и окрашивать головки болтов с заходом на поверхность фланцев.

4. Учитывая снижение общей коррозионной стойкости после нанесения на детали крепежа ТСП, рекомендуется наносить ТСП только на резьбовую часть болтов.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Жуков А.П., Абрашов А.А., Ваграмян Т.А. Материаловедение. М., РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011.
- [2] Жуков А.П. Сталь. Терминологический словарь. М., РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2016.
- [3] Иванов М.В., Гаврильчев С.А., Трофимов С.А. и др. Исследование гидроакустических свойств материалов. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2018, № 4, с. 71–83. DOI: 10.18698/0236-3941-2018-4-71-83
- [4] ГОСТ 5639–82. Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна. М., Изд-во стандартов, 2003.
- [5] Никифоров В.М. Технология металлов и конструкционные материалы. Л., Машиностроение, 1986.
- [6] Третьяков А.Ф., Тарасенко Л.В. Материаловедение и технологии обработки материалов. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014.
- [7] Гуров А.А., Слитиков П.В., Медных Ж.Н. Химия: теория и практика. Металлы и сплавы. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018.

- [8] ГОСТ ISO 9223–2017. Коррозия металлов и сплавов. Коррозионная агрессивность атмосферы. Классификация, определение и оценка. М., Стандартинформ, 2018.
- [9] Bogoslovskii S.Y., Kuznetsov N.N., Boldyrev V.S. Parameter optimization of electrolytic process of obtaining sodium hypochlorite for disinfection of water. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2017, vol. 918, art. 012028. DOI: 10.1088/1742-6596/918/1/012028
- [10] Аверина Ю.М., Калякина Г.Е., Меньшиков В.В. и др. Проектирование процессов нейтрализации хромо- и цианосодержащих сточных вод на примере гальванического производства. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2019, № 3, с. 70–80. DOI: 10.18698/1812-3368-2019-3-70-80
- [11] Папиоров Р.В., Василенко О.А., Ваграмян Т.А. и др. О возможности повышения коррозионной стойкости углеродистых сталей при проведении лазерной обработки. *Коррозия: материалы, защита*, 2012, № 5, с. 7–9.
- [12] Базалеева К.О., Пахомова С.А., Смирнов А.Е. и др. Материаловедение и технологии материалов. М., Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016.
- [13] Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Обзор зарубежного опыта исследований коррозии и средств защиты от коррозии. *Авиационные материалы и технологии*, 2015, № 2, с. 76–87.
- [14] ГОСТ 28207–89 (МЭК 68-2-11–81). Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Испытание Ка: Соляной туман. М., Изд-во стандартов, 2006.
- [15] ГОСТ 25054–81. Поковки из коррозионно-стойких сталей и сплавов. Общие технические условия. М., Изд-во стандартов, 2003.
- [16] Гжиров Р.И. Краткий справочник конструктора. Л., Машиностроение, 1983.

Недашковский Константин Иванович — заместитель главного металлурга по металлургическим процессам АО «НПО «Энергомаш» имени академика В.П. Глушко» (Российская Федерация, 141400, Московская обл., г. Химки, ул. Бурденко, д. 1).

Гульшин Андрей Викторович — начальник сектора акустических методов контроля и инновационных технологий технической диагностики АО «НПО «Энергомаш» имени академика В.П. Глушко» (Российская Федерация, 141400, Московская обл., г. Химки, ул. Бурденко, д. 1).

Аверина Юлия Михайловна — канд. техн. наук, доцент кафедры «Инновационные материалы и защита от коррозии» РХТУ им. Д.И. Менделеева (Российская Федерация, 125047, Москва, Миусская пл., д. 9).

Наумкина Виктория Андреевна — магистрант кафедры «Инновационные материалы и защита от коррозии» РХТУ им. Д.И. Менделеева (Российская Федерация, Москва, 125047, Миусская пл., д. 9)

Меньшиков Владимир Викторович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Инновационные материалы и защита от коррозии» РХТУ им. Д.И. Менделеева (Российская Федерация, 125047, Москва, Миусская пл., д. 9).

Болдырев Вениамин Станиславович — канд. техн. наук, доцент кафедры «Химия» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Недашковский К.И., Гульшин А.В., Аверина Ю.М. и др. Исследование коррозионной стойкости крепежных деталей из высокопрочных сталей применительно к узлам, работающим при высоком давлении в условиях морского климата. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2020, № 1, с. 94–106.

DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2020-1-94-106>

INVESTIGATING CORROSION RESISTANCE OF HEAVY-DUTY STEEL FASTENERS REGARDING ASSEMBLIES OPERATING IN MARITIME CLIMATES UNDER HIGH PRESSURES

K.I. Nedashkovskiy¹

A.V. Gulshin¹

Yu.M. Averina²

V.A. Naumkina²

V.V. Menshikov²

V.S. Boldyrev³

nedashkovskii_ki@npocm.ru

gulshin_av@npocm.ru

averinajm@mail.ru

vikunya_n1996@mail.ru

vm_uti@muctr.ru

boldyrev.v.s@bmstu.ru

¹ JSC NPO Energomash named after Academician V.P. Glushko, Khimki, Moscow Region, Russian Federation

² Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, Russian Federation

³ Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The paper presents investigation results and a technology for manufacturing fastener workpieces out of the 07Kh16N6-Sh (07X16H6-III) steel using high-temperature heat treatment. The steel undergoing our testing was additionally doped with molybdenum, as reflected in the 07Kh16N6M-Sh (07X16H6M-III) designation, which facilitated grain refinement. We implemented accelerated climate testing of bolts in order to assess the corrosion cracking resistance of 07Kh16N6-Sh (07X16H6-III), 07Kh16N6M-Sh (07X16H6M-III) and 13Kh15N4AM3-Sh (13X15H4AM3-III) steel fasteners in maritime climates

Keywords

Corrosion cracking, fasteners, maritime climate, heat treatment, stainless steel, bolts

Received 05.04.2019

Accepted 10.07.2019

© Author(s), 2020

REFERENCES

[1] Zhukov A.P., Abrashov A.A., Vagramyan T.A. *Materialovedenie [Materials science]*. Moscow, RKhtU im. D.I. Mendeleeva Publ., 2011.

- [2] Zhukov A.P. *Stal'. Terminologicheskii slovar'* [Steel. Technological dictionary]. Moscow, RKhTU im. D.I. Mendeleeva Publ., 2016.
- [3] Ivanov M.V., Gavril'chev S.A., Trofimov S.A., et al. Investigating hydroacoustic properties of materials. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Mashinostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Mechan. Eng.], 2018, no. 4, pp. 71–83 (in Russ.). DOI: 10.18698/0236-3941-2018-4-71-83
- [4] GOST 5639–82. *Stali i splavy. Metody vyyavleniya i opredeleniya velichiny zerna* [State standard 5639–82. Steels and alloys. Methods for detection and determination of grain size]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 2003.
- [5] Nikiforov V.M. *Tekhnologiya metallov i konstruktsionnye materialy* [Metals technology and construction materials]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1986.
- [6] Tretyakov A.F., Tarasenko L.V. *Materialovedenie i tekhnologii obrabotki materialov* [Materials science and materials processing technologies]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2014.
- [7] Gurov A.A., Slitikov P.V., Mednykh Zh.N. *Khimiya: teoriya i praktika. Metally i splavy* [Chemistry: theory and practice. Metals and alloys]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2018.
- [8] GOST ISO 9223–2017. *Korroziya metallov i spлавov. Korroziionnaya agressivnost' atmosfery. Klassifikatsiya, opredelenie i otsenka* [State standard ISO 9223–2017. Corrosion of metals and alloys. Corrosivity of atmospheres. Classification, determination and estimation]. Moscow, Standartinform Publ., 2018.
- [9] Bogoslovskii S.Y., Kuznetsov N.N., Boldyrev V.S. Parameter optimization of electrolytic process of obtaining sodium hypochlorite for disinfection of water. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2017, vol. 918, art. 012028. DOI: 10.1088/1742-6596/918/1/012028
- [10] Averina Yu.M., Kalyakina G.E., Men'shikov V.V., et al. Neutralisation process design for electroplating industry wastewater containing chromium and cyanides. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2019, no. 3, pp. 70–80 (in Russ.). DOI: 10.18698/1812-3368-2019-3-70-80
- [11] Papirov R.V., Vasilenko O.A., Vagramyan T.A., et al. On increase possibility of corrosion stability of carbon steels in case of laser treatment. *Korroziya: materialy, zashchita* [Corrosion: Materials, Protection], 2012, no. 5, pp. 7–9 (in Russ.).
- [12] Bazaleeva K.O., Pakhomova S.A., Smirnov A.E., et al. *Materialovedenie i tekhnologii materialov* [Materials science and technology]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2016.
- [13] Kablov E.N., Startsev O.V., Medvedev I.M. Review of international experience on corrosion and corrosion protection. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii* [Aviation Materials and Technologies], 2015, no. 2, pp. 76–87 (in Russ.).
- [14] GOST 28207–89 (MEK 68-2-11–81). *Osnovnye metody ispytaniy na vozdeystvie vneshnikh faktorov. Chast' 2. Ispytaniya. Ispytanie Ka: Solyanoy tuman* [State standard 28207–89 (MEK 68-2-11–81). Basic environmental testing procedures. Part 2. Tests. Test Ka: Salt mist]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 2006.

[15] GOST 25054–81. Pokovki iz korrozionno-stoykikh staley i splavov. Obshchie tekhnicheskie usloviya [State standard 25054–81. Forgings of corrosion-resistant steels and alloys. General specifications]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 2003.

[16] Gzhiron R.I. Kratkiy spravochnik konstruktora [Quick reference of the designer]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1983.

Nedashkovskiy K.I. — Deputy Chief Metallurgist in charge of metallurgical processes, JSC NPO Energomash named after Academician V.P. Glushko (Burdenko ul. 1, Khimki, Moscow Region, 141400 Russian Federation).

Gulshin A.V. — Head of Sector of Acoustic Control Methods and Innovative Engineering Diagnostics Technologies, JSC NPO Energomash named after Academician V.P. Glushko (Burdenko ul. 1, Khimki, Moscow Region, 141400 Russian Federation).

Averina Yu.M. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Innovative Materials and Corrosion Protection, Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (Miuskaya ploschad 9, Moscow, 125047 Russian Federation).

Naumkina V.A. — Graduate Student, Department of Innovative Materials and Corrosion Protection, Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (Miuskaya ploschad 9, Moscow, 125047 Russian Federation).

Menshikov V.V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Innovative Materials and Corrosion Protection, Dmitry Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (Miuskaya ploschad 9, Moscow, 125047 Russian Federation).

Boldyrev V.S. — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Chemistry, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Nedashkovskiy K.I., Gulshin A.V., Averina Yu.M., et al. Investigating corrosion resistance of heavy-duty steel fasteners regarding assemblies operating in maritime climates under high pressures. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2020, no. 1, pp. 94–106 (in Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3941-2020-1-94-106>