

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. №12 (150). С.3-8.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. №12 (150). P.3-8.

Научная статья
УДК 661.343
doi: 10.30987/2223-4608-2023-3-8

О преимуществах применения стали 10X23H18 вместо сплава Никель 201 для изготовления труб, стойких в растворах гидроксида натрия

Рушана Ринатовна Абдульманова¹, магистрант
Антон Сергеевич Тюсенков², к.т.н.
Дмитрий Ефимович Бугай³, д.т.н.

^{1,2,3} Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

¹ arushanar2001@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6033-0326>

² anton.tyusenkov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8729-4712>

³ debugai@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8564-4774>

Аннотация. В окислительных средах никель и его сплавы склонны к пассивации, в связи с чем скорость коррозии оборудования, выполненного из этих материалов, существенно снижается. Никель и его сплавы широко применяют для изготовления оборудования, контактирующего с щелочными растворами. Однако при высоких температурах и больших скоростях потока щелочи существует вероятность контактного износа поверхности металла кристаллами гидроксида натрия вследствие низкой твёрдости никеля. Замена никелевых труб на трубы из более дешёвых коррозионно-стойких сталей позволила бы решить проблему рационального конструирования оборудования и трубопроводов предприятий, связанных с производством гидроксида натрия. В работе приведены результаты сравнительных испытаний коррозионной стойкости стали 10X23H18 и сплава Никель 201 в водных растворах гидроксида натрия различной концентрации. На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что скорость растворения стали 10X23H18 значительно меньше скорости растворения сплава Никель 201. Нужно отметить, что с увеличением концентрации растворов скорость коррозии у стали постепенно снижается, что нельзя сказать о сплаве на основе никеля. Также по результатам измерения твёрдости можно выделить сталь 10X23H18, она имеет высокую стойкость к абразивному износу. По шкале коррозионной стойкости оба материала относятся к совершенно стойким. Так как сталь 10X23H18 имеет более низкую стоимость по сравнению со сплавом Никель 201, её можно рекомендовать в качестве замены для изготовления оборудования, работающего в растворах гидроксида натрия при комнатных температурах.

Ключевые слова: коррозия в щелочных растворах, гидроксид натрия, коррозионное растрескивание, коррозионно-стойкие стали, гравиметрический анализ, твёрдость

Для цитирования: Абдульманова Р.Р., Тюсенков А.С., Бугай Д.Е. О преимуществах применения стали 10X23H18 вместо сплава Никель 201 для изготовления труб, стойких в растворах гидроксида натрия // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2023. № 12 (150). С. 3–8. doi: 10.30987/2223-4608-2023-3-8

The advantages of using 10X23H18 steel instead of Nickel 201 alloy for making pipes resistant to sodium hydroxide solutions

Rushana R. Abdulmanova¹, Master's Degree student
Anton S. Tyusenkov², Ph.D. Eng.
Dmitry E. Bugai³, D. Eng.

Abstract. In oxidizing environments, nickel and its alloys are prone to immunization and therefore the corrosion rate of equipment made of these materials is significantly reduced. Nickel and its alloys are widely used for the manufacture of equipment in contact with alkaline solutions. However, at high temperatures and high alkali flow rates, there is a possibility of contact wear of the metal surface of sodium hydroxide crystals due to the low hardness of nickel. Replacing nickel pipes with ones made of cheaper corrosion-resistant steels would solve the problem of rational design of equipment and pipelines of enterprises associated with the production of sodium hydroxide. The paper presents the results of comparative tests of corrosion resistance of 10X23H18 steel and Nickel 201 alloy in aqueous alkali caustic soda solutions of various concentrations. On a study basis, it can be concluded that the dissolution rate of 10X23H18 steel is significantly less than the dissolution rate of Nickel 201 alloy. It should be noted that with an increase in the concentration of solutions, the corrosion rate of steel gradually decreases, which is not the case for nickel-based alloy. Besides, judging from the results of hardness measurement, 10X23H18 steel can be distinguished due to its high resistance to abrasive wear. According to the scale of corrosion resistance, both materials are absolutely resistant. Since 10X23H18 steel has a lower cost compared to Nickel 201 alloy, it can be recommended substitutionally for the manufacture of the equipment operating in sodium hydroxide solutions at ambient conditions.

Keywords: corrosion in alkaline solutions, sodium hydroxide (caustic soda), corrosion cracking, corrosion-resistant steels, gravimetric analysis, hardness

For citation: Abdulmanova R.R., Tyusenkov A.S., Bugai D.E. The advantages of using 10X23H18 steel instead of Nickel 201 alloy for making pipes resistant to sodium hydroxide solutions / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2023. № 12 (150). P. 3–8. doi: 10.30987/2223-4608-2023-3-8

Введение

Сплав Никель 201 имеет высокую степень чистоты благодаря минимальному содержанию примесей (таких как сера и кислород). Его особенностью является повышенное содержание никеля (99,0 %) и пониженное содержание углерода (менее 0,02 %), обеспечивающее высокую стойкость сплава в окислительных средах. Механические свойства данного сплава не подвержены негативному влиянию экстремальных температур. Сплав Никель 201 стоек в щелочных растворах, галогенах, минеральных кислотах.

Следует отметить, что данный сплав обладает высокой стойкостью в каустических растворах, включая солевые расплавы. При этом необходимо учитывать минимальное содержание хлора, поскольку его присутствие может привести к интенсивной коррозии. Однако в окислительных солевых растворах сплав нестойк.

При повышенных температурах и действии растягивающих напряжений в концентрированных растворах щелочей наблюдается коррозионное растрескивание сплава Никель 201 из-за щелочной хрупкости [1 – 3].

Кроме того, при коррозионной эрозии происходит механическое воздействие быстродвижущихся частиц (песок, газовые пузырьки

и др.) на поверхность металла [4 – 7]. Интенсивность эрозионного разрушения зависит от свойств металла и пленок на его поверхности, коррозионной среды, действующих нагрузок и ряда других факторов.

Непрерывное удаление оксидных пленок с поверхности материала при движении коррозионной среды может значительно ускорить коррозионный процесс [8 – 12].

На предприятии АО «Башкирская содовая компания» в качестве материала трубопроводов используется дорогостоящий сплав Никель 201. Несмотря на высокую коррозионную стойкость, он имеет склонность к абразивному износу вследствие низкой твердости. В связи с этим целью данного исследования являлась обоснованная замена сплава Никель 201 более дешевым материалом, который в условиях производства каустической соды проявлял бы высокую коррозионную стойкость и износостойкость.

Исследования проводили с помощью гравиметрического анализа (ГОСТ 9.908-85), который основывается на определении скорости коррозии металлических образцов по потере массы за время пребывания в коррозионной среде заданного состава.

В качестве рабочей среды использовали растворы гидроксида натрия различной концентрации: 50, 60, 70 и 80 %. Твердость

материалов по Роквеллу определяли на ультразвуковом твердомере марки МЕТ-УДА.

После подготовки образцов из сплава Никель 201 и стали 10Х23Н18 в соответствии с ГОСТ 9.908-85 их помещали в колбы с подготовленными растворами NaOH различных концентраций. Продолжительность испытаний

составляла два месяца. Далее образцы извлекали из колб и промывали водой, выдерживали в сушильном шкафу в течение получаса при температуре 60 ± 2 °С и снова взвешивались на аналитических весах.

Результаты испытаний образцов из сплава Никель 201 представлены в табл. 1.

1. Результаты испытаний образцов из сплава Никель 201

1. Test results of Nickel 201 alloy samples

Среда NaOH	$S, \text{ м}^2$	$m_1, \text{ г}$	$m_2, \text{ г}$	$K_m \cdot 10^{-3}, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$	$\Pi \cdot 10^{-3}, \text{ мм/год}$
50 %	0,00278	19,7323	19,7310	0,287	0,282
	0,00281	17,0158	17,0153	0,109	0,107
	0,00281	19,6415	19,6408	0,153	0,151
60 %	0,00281	17,0635	17,0623	0,263	0,258
	0,00280	17,1858	17,1848	0,220	0,216
	0,00280	17,2592	17,2581	0,241	0,237
70 %	0,00284	17,5169	17,5161	0,173	0,170
	0,00280	19,5029	19,5017	0,263	0,259
	0,00279	19,8764	19,8751	0,286	0,281
80 %	0,00280	16,7659	16,7650	0,197	0,194
	0,00280	20,0090	20,0081	0,197	0,194
	0,00282	20,0647	20,0641	0,131	0,129

Примечания: m_1 – масса образца до испытания, г; m_2 – масса образца после испытания, г; S – площадь поверхности образца, м^2 ; K_m – массовый показатель коррозии, $\text{г/м}^2 \cdot \text{ч}$; Π – глубинный показатель коррозии, мм/год

График зависимости глубинного показателя скорости коррозии от концентрации NaOH для сплава Никель 201 представлен на рис. 1. Из графика следует, что данная зависимость имеет нелинейный характер с явно выраженным экстремумом при концентрации едкого натра около 65 %. При дальнейшем росте

концентрации гидроксида натрия скорость коррозии сплава начинает снижаться, что связано с образованием защитной пассивной плёнки на поверхности металла.

Результаты испытаний образцов из стали 10Х23Н18 в растворах NaOH различных концентраций представлены в табл. 2.

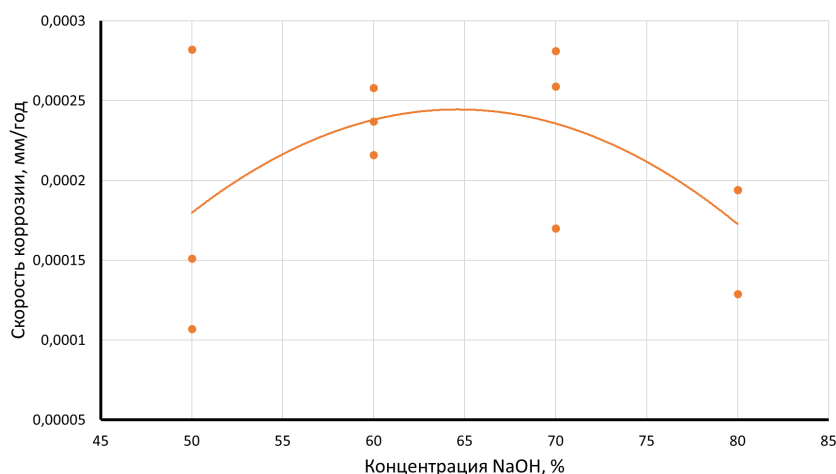


Рис. 1. Зависимость скорости коррозии сплава Никель 201 от концентрации NaOH

Fig. 1. Dependence of Nickel 201 alloy corrosion rate on NaOH concentration

2. Результаты испытаний образцов из стали 10X23H18

2. Test results of 10X23H18 steel samples

Среда NaOH	$S, \text{ м}^2$	$m_1, \text{ г}$	$m_2, \text{ г}$	$K_m \cdot 10^{-3}, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$	$\Pi \cdot 10^{-3}, \text{ мм/год}$
50 %	0,00257	31,3251	31,3249	0,0477	0,0531
	0,00257	31,1550	31,1540	0,2390	0,2660
	0,00258	31,1599	31,1593	0,1430	0,1590
60 %	0,00257	31,0080	31,0076	0,0956	0,1060
	0,00257	31,4352	31,4347	0,1190	0,1330
	0,00257	31,3475	31,3468	0,1670	0,1860
70 %	0,00256	31,2735	31,2730	0,1200	0,1330
	0,00257	31,7144	31,7138	0,1430	0,1600
	0,00256	31,3300	31,3296	0,0958	0,1070
80 %	0,00256	31,1198	31,1196	0,0479	0,0533
	0,00255	30,7524	31,7522	0,0482	0,0536
	0,00254	30,8532	31,8528	0,0966	0,1080

График зависимости глубинного показателя скорости коррозии от концентрации гидроксида натрия для стали 10X23H18 представлен на рис. 2. Из рисунка следует, что данная зависимость не имеет экстремума: с ростом концентрации едкого натра скорость коррозии стали 10X23H18 монотонно нелинейно уменьшается, что также связано с образованием защитных пассивных пленок.

Из совместного анализа зависимостей на рис. 1 и рис. 2 можно заключить, что скорости коррозии образцов из стали 10X23H18 значительно ниже, чем у образцов из сплава Никель 201 во всем интервале концентраций раствора NaOH. Кроме того, пассивация стали начинается сразу и продолжается постоянно до достижения минимальной скорости коррозии при 80 % растворе NaOH.

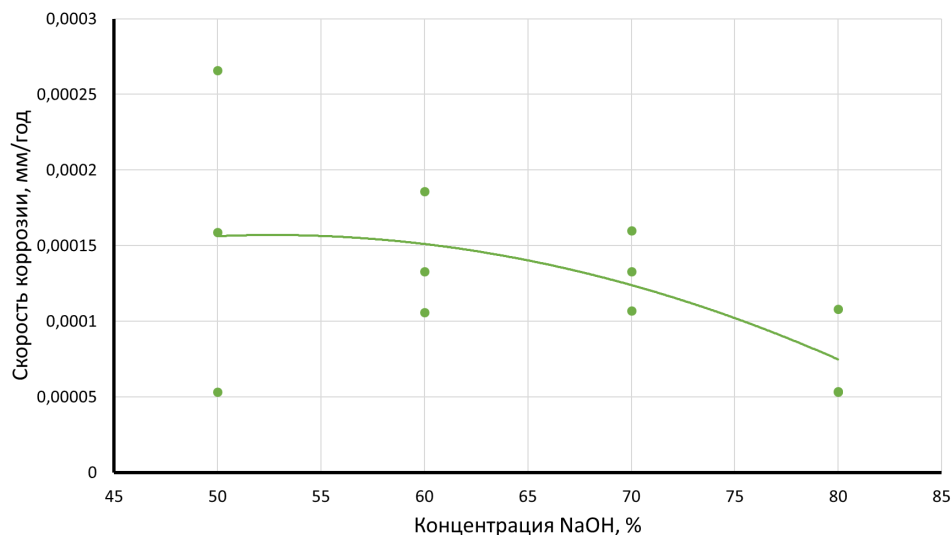


Рис. 2. Зависимость скорости коррозии образцов из стали 10X23H18 от концентрации NaOH

Fig. 2. Dependence of the corrosion rate of 10X23H18 steel samples on NaOH concentration

Гравиметрический анализ показал, что оба исследованных материала имеют достаточно высокую коррозионную стойкость в средах гидроксида натрия различной концентрации,

однако наиболее стойкой при всех концентрациях NaOH оказалась сталь 10X23H18.

Результаты измерения твердости образцов представлены в табл. 3

3. Результаты измерения твердости образцов по Роквеллу, HRC

3. Rockwell hardness measurement results, HRC

Материал	Концентрация раствора, %			
	50	60	70	80
10X23H18	50	60	70	80
Среднее значение твёрдости	25,2	24,5	25,9	26,5
Материал	Концентрация раствора, %			
	50	60	70	80
Никель 201	50	60	70	80
Среднее значение твёрдости	7,8	7,3	5,1	5,2

Известно, что более твердые материалы лучше сопротивляются пластической деформации и износу при абразивном воздействии. По результатам измерения твердости образцов сталь 10X23H18 обладает более высокой износостойкостью по сравнению со сплавом Никель 201.

Выводы

Установлено, что скорость коррозии сплава Никель 201 с увеличением концентрации гидроксида натрия до 60...70 % возрастает, а при более высоких концентрациях снижается вследствие образования на поверхности металла защитной пленки. Скорость растворения стали 10X23H18 с увеличением концентрации гидроксида натрия монотонно снижается. Показано также, что сталь 10X23H18 имеет и более высокую стойкость к абразивному износу.

Оба материала относятся к совершенно стойким в рассматриваемых растворах (один балл по шкале коррозионной стойкости). С учетом того, что сталь 10X23H18 имеет значительно более низкую стоимость по сравнению со сплавом Никель 201, ее можно рекомендовать в качестве замены сплава Никель 201 для изготовления трубопроводов и технологического оборудования, работающего в растворах гидроксида натрия при комнатных температурах.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кравцов В.В., Тюсенков А.С., Ризванов Р.Г., Летов А.Ф., Дворецков Р.М. Исследование причин отказов трубопроводов из никелевого сплава при воздействии высоких температур // Нефтегазовое дело. 2021. Т. 19. № 3. С. 110–120.

2. Бугай Д.Е., Латыпов О.Р., Черепашкин С.Е. Коррозионно-стойкие материалы: учебник. Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2012. 197 с.

3. Ермаков А.Е., Филипов Д.А. Анализ причин отказов промышленных трубопроводов // Научный электронный журнал «Меридиан». 2020. № 5 (39). С. 1–4.

4. Ивановский В.Н. Теоретические основы процесса коррозии нефтепромышленного оборудования // Инженерная практика. 2010. № 6. С. 4–14.

5. Копытова Н.П. Защита от коррозии промышленных трубопроводов // Проблемы современной науки и образования. 2017. № 8 (90). С. 19–22.

6. Кузеев И.Р., Наумкин Е.А., Савичева Ю.Н., Попова С.В. Поверхность и поверхностные явления. Уфа: Нефтегазовое дело, 2008. 144 с.

7. Мальцева Г.Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии: Учеб. пособие. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. 211 с.

8. Роствинская А.С., Роствинская В.С. Коррозия – ущерб экономике и способы борьбы с ней // Трибуна ученого. 2020. № 2. С. 57–64.

9. Рубцов А.В., Чиркова А.Г. Анализ механических свойств сварных соединений с различным уровнем накопления повреждений // В книге: 54-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. 2003. С. 243.

10. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии / Под ред. И.В. Семеновой. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 336 с.

11. Шварц Г.Л., Кристаль М.М. Коррозия химической аппаратуры. Коррозионное растрескивание и методы его предотвращения. М.: Машгиз, 1958. 204 с.

12. Эванс Ю.Р. Коррозия, пассивность и защита металлов: Пер. с англ. / Под ред. Г.В. Акимова. Л.: Химия, 1941. 885 с.

REFERENCES

1. Kravtsov V.V., Tyusenkov A.S., Rizvanov R.G., Letov A.F., Dvoretzky R.M. Research into the causes of nickel alloy pipelines failure under influence of high temperatures stress// Oil and Gas Engineering, 2021, vol. 19, No. 3, pp. 110–120.

2. Bugai D.E., Latypov O.R., Cherepashkin S.E. Corrosion-resistant materials: textbook. Ufa: Publishing house «Oil and Gas Engineering», 2012, 197 p.

3. Ermakov A.E., Filipov D.A. Analysis of causes of failures of field pipelines // Scientific electronic journal «Meridian», 2020, No. 5 (39), pp. 1–4.

4. Ivanovskiy V.N. Theoretical foundations of the corrosion process of oilfield equipment // Engineering practice, 2010, No. 6, pp. 4–14.

5. Kopytova N.P. Corrosion protection of field pipelines // Problems of modern science and education, 2017, No. 8 (90), pp. 19–22.

6. Kuzeev I.R., Naumkin E.A., Savicheva Yu.N., Popova S.V. Surface and surface phenomena. Ufa: Oil and Gas Engineering, 2008, 144 p.

7. Maltseva G.N. Corrosion and protection of equipment from corrosion: Textbook. manual. Penza: Publishing House of the Penza State University, 2000, 211 p.

8. Rostvinskaya A.S., Rostvinskaya V.S. Corrosion is a damage to the economy and ways to prevent it // Tribune of the scientist, 2020, No. 2, pp. 57–64.

9. Rubtsov A.V., Chirkova A.G. Analysis of mechanical properties of welded joints with different levels of accumulated damage. Collection of scientific articles. // In the book: proceedings of the 54th Scientific and Technical Conference of students, postgraduates and young scientists, 2003, p. 243.

10. Semenova I.V., Florianovich G.M., Khoroshilov A.V. Corrosion and corrosion protection / Edited by I.V. Semenova. Moscow: FIZMATLIT, 2002, 336 p.

11. Schwartz G.L., Kristal M.M. Corrosion of chemical equipment. Corrosion cracking and methods of its prevention. Moscow: Mashgiz, 1958, 204 p.

12. Evans Yu.R. Metallic Corrosion, Passivity and Protection: translated from English / Edited by G.V. Akimov. Leningrad: Khimiya, 1941, 885 p.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 16.10.2023; одобрена после рецензирования 01.11.2023; принята к публикации 03.11.2023.

The article was submitted 16.10.2023; approved after reviewing 01.11.2023; assepted for publication 03.11.2023.