



**Received:** 03.06.2024

**Revised:** 29.08.2024



**Accepted:** 25.10.2024



**DOI:** 10.17804/2410-9908.2024.5.088-096



## ON THE APPLICABILITY OF THE 06KhN28MDT STEEL TO THE PRODUCTION OF PIPES RESISTANT TO SODIUM HYDROXIDE SOLUTIONS

R. R. Abdulmanova<sup>a,\*</sup>, A. S. Tyusenkov<sup>b</sup>, and D. E. Bugai<sup>c</sup>

*Ufa State Petroleum Technological University,  
1 Kosmonavtov St., Ufa, Bashkortostan Republic, 450064, Russia*

<sup>a)</sup>  <https://orcid.org/0009-0007-6033-0326>  arushanar2001@mail.ru;

<sup>b)</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-8729-4712>  anton.tyusenkov@yandex.ru;

<sup>c)</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-8564-4774>  debugai@mail.ru

\*Corresponding author. Email: arushanar2001@mail.ru

Address for correspondence: ul. Kosmonavtov, 1, Ufa, Bashkortostan Rep., 450064, Russia  
Tel.: +7 (917) 434-9408

Sodium hydroxide is a very aggressive medium; therefore, the equipment for its production is subject to intense corrosion. Most of the process pipelines of the Bashkir Soda Company JSC are made of the Nickel 201 alloy, which has low abrasive resistance. As a result, there are cases of equipment failures due to corrosion-erosion destruction. Since this alloy is expensive, it is a relevant problem to replace it with cheaper materials that are not inferior in corrosion resistance. This paper presents the results of studying the possibility of replacing the nickel alloy with the 06KhN28MDT austenitic steel. It is shown that this steel is not inferior in its corrosion resistance and a number of other characteristics to the Nickel 201 alloy. Thus, at room temperature, at a sodium hydroxide concentration of 50%, the corrosion rate of the 06KhN28MDT steel is one-third as high as that of the Nickel 201 alloy. With the increasing concentration of caustic soda, the difference in corrosion resistance between these materials decreases and disappears when it reaches 80%. It has been found that the hardness of the 06KhN28MDT steel is four times as high as that of the Nickel 201 alloy. The studies have proved that the 06KhN28MDT steel can be recommended to replace the expensive nickel alloy in the production of pipes in contact with sodium hydroxide solutions.

**Keywords:** corrosion in alkaline solutions, sodium hydroxide, corrosion cracking, corrosion-resistant steels, gravimetric analysis, hardness

### References

1. Ermakov, A.E. and Filipov, D.A. Analysis of causes of flowlines failures. *Nauchnyj Elektronnyj Zhurnal "Meridian"*, 2020, 5 (39), 1–4. (In Russian). Available at: <https://meridian-journal.ru/site/articlef42a/>
2. Ivanovsky, V.N. Theoretical foundations of the process of corrosion of oil field equipment. *Inzhenernaya Praktika*, 2010, 6, 4–14. (In Russian).
3. Kopytova, N.P. Protection from corrosion of field pipelines. *Problemy Sovremennoj Nauki i Obrazovaniya*, 2017, 90 (8), 19–22. (In Russian).
4. Rostvinskaya, A.S. and Rostvinskaya, V.S. Corrosion – damages to the economy and methods of struggle with it. *Tribuna Uchenogo*, 2020, (2), 57–64. (In Russian).
5. Semenova, I.V., Florianovich, G.M., and Khoroshilov, A.V. *Korroziya i zashchita ot korrozii* [Corrosion and Corrosion Protection, ed., I.V. Semenova]. Fizmatlit Publ., Moscow, 2002, 327 p. (In Russian).



6. Kravtsov, V.V., Tyusenkov, A.S., Rizvanov, R.G., Letov, A.F., and Dvoretsov, R.M. Investigation of the causes of failures of nickel alloy pipelines under the influence of high temperatures. *Neftegazovoe Delo*, 2021, 19 (3), 110–120. (In Russian).
7. Maltseva, G.N. *Korroziya i zashchita oborudovaniya ot korrozii: uchebnoe posobie* [Corrosion and Protection of Equipment from Corrosion, ed., S.N. Vinogradov]. Izd-vo Penz. Gos. Un-ta Publ., Penza, 2000, 211 p. (In Russian).
8. Rubtsov, A.V. and Chirkova, A.G. Analysis of mechanical properties of welded joints with different levels of damage accumulation. In: *54-ya Nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchennykh* [54-th Scientific and Technical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists, Ufa, April 01–10 2003: Abstracts]. UGNTU Publ., Ufa, 2003, p. 243 (In Russian).
9. Tyusenkov, A.S., Cherepashkin, S.E., Khudyakov, M.A., Yamshchikova, S.A., and Nasibullina, O.A. *Materialovedenie i tekhnologiya konstruksionnykh materialov* [Materials Science and Technology of Structural Materials]. Izd-vo Neftegazovoe Delo Publ., Ufa, 2018, 94 p. (In Russian).
10. Shvartz, G.L. and Kristal, M.M. *Corrosion of Chemical Apparatus: Corrosion Cracking and Methods of Protection Against it*, Consultants Bureau, New York, 1959, 264 p.
11. Abdulmanova, R., Tyusenkov, A., and Bugai, D. The advantages of using 10X23H18 steel instead of Nickel 201 alloy for making pipes resistant to sodium hydroxide solutions. *Naukoyomkie Tekhnologii v Mashinostroenii*, 2023, 12 (150), 3–8. (In Russian). DOI: 10.30987/2223-4608-2023-3-8.
12. Evans, U.R. *Korroziya, passivnost i zashchita metallov* [Metallic Corrosion, Passivity and Protection]. Metallurgizdat Publ., Moscow, Leningrad, 1941, 888 p. (In Russian).
13. Tomashov, N.D. and Chernova, G.P. *Passivnost i zashchita metallov ot korrozii* [Passivity and Protection of Metals from Corrosion]. Nauka Publ., Moscow, 1965, 208 p. (In Russian).
14. Batrakov, V.P. *Korroziya konstruksionnykh materialov v agressivnykh sredakh* [Corrosion of Structural Materials in Corrosive Media, ed., G.V. Akimov]. Oborongiz Publ., Moscow, 1952, 452 p. (In Russian).
15. Gutman, E.M. *Mekhanokhimiya metallov i zashchita ot korrozii* [Mechanochemistry of Metals and Corrosion Protection]. Metallurgiya Publ., Moscow, 1974, 232 p. (In Russian).
16. Kuzeev, I.R., Naumkin, E.A., Savicheva, Yu.N., and Popova, S.V. *Poverkhnostnye yavleniya* [Surface and Surface Phenomena]. UGNTU Publ., Ufa, 2008, 144 p. (In Russian).
17. Fomin, V.V. *Gidroeroziya metallov* [Hydroerosion of Metals]. Mashinostroenie Publ., Moscow, 1977, 286 p. (In Russian).
18. Klinov, I.Ya. *Korroziya khimicheskoy apparatury i korrozionno-stoykie materialy* [Corrosion of Chemical Equipment and Corrosion-Resistant Materials]. Mashgiz Publ., Moscow, 1960, 511 p. (In Russian).
19. Kashcheev, V.N. and Glazkov, V.M. Wear in a stream of moving abrasive particles. In: *Metody ispytaniya na iznashivanie: trudy soveshchaniya* [Session on Wear Testing Methods, Moscow, December 7–10, 1960: Proceedings]. Izd-vo Akad. Nauk SSSR Publ., 1962, 24–30 p. (In Russian).
20. Vinogradov, V.N., Sorokin, G.M., and Albagachiev, A.Yu. *Iznashivanie pri udare* [Impact Wear]. Mashinostroenie Publ., Moscow, 1982, 192 p. (In Russian).



Подана в журнал: 03.06.2024

УДК 661.343

DOI: 10.17804/2410-9908.2024.5.088-096

## О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СТАЛИ 06ХН28МДТ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБ, СТОЙКИХ В РАСТВОРАХ ГИДРОКСИДА НАТРИЯ

Р. Р. Абдульманова<sup>а, \*</sup>, А. С. Тюсенков<sup>б</sup>, Д. Е. Бугай<sup>в</sup>

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»,  
ул. Космонавтов, 1, Уфа, Республика Башкортостан, 450064, Россия*

<sup>а)</sup> <https://orcid.org/0009-0007-6033-0326> arushanar2001@mail.ru;

<sup>б)</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8729-4712> anton.tyusenkov@yandex.ru;

<sup>в)</sup> <https://orcid.org/0000-0002-8564-4774> debugai@mail.ru

\*Ответственный автор. Электронная почта: arushanar2001@mail.ru  
Адрес для переписки: ул. Космонавтов, 1, Уфа, Башкортостан, 450064, Россия  
Тел.: +7 (917) 434-94-08

Гидроксид натрия является весьма агрессивной средой, поэтому оборудование для его производства подвергается интенсивной коррозии. Большая часть технологических трубопроводов АО «Башкирская содовая компания» изготовлена из сплава Никель 201, который обладает невысокой абразивной стойкостью. Вследствие этого имеют место случаи отказа оборудования по причине коррозионно-эрозионного разрушения металла. Поскольку данный сплав имеет высокую стоимость, актуальной является задача его замены более дешевыми материалами, не уступающими по коррозионной стойкости. В настоящей работе приведены результаты исследования возможности замены никелевого сплава аустенитной сталью 06ХН28МДТ. Показано, что сталь 06ХН28МДТ в растворах гидроксида натрия различной концентрации не уступает по своей коррозионной стойкости и ряду других характеристик сплаву Никель 201. Так, при концентрации гидроксида натрия 50 % и комнатной температуре скорость коррозии стали 06ХН28МДТ в три раза меньше, чем сплава Никель 201. С ростом концентрации едкого натра различие коррозионной стойкости этих материалов уменьшается и по достижении 80 % исчезает. Установлено, что твердость стали 06ХН28МДТ в четыре раза превышает твердость сплава Никель 201. На основе выполненных исследований доказано, что сталь 06ХН28МДТ может быть рекомендована для замены дорогостоящего никелевого сплава при производстве труб, контактирующих с растворами гидроксида натрия.

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

### 1. Введение

Коррозия металла является одной из основных причин выхода из строя оборудования нефтегазовой, нефтехимической и химической отраслей промышленности. Поиск решений, позволяющих повысить стойкость оборудования к действию агрессивных сред, не прекращается и остается актуальной научно-технической задачей [1–4].

В настоящее время большая часть технологических трубопроводов АО «Башкирская содовая компания» изготовлена из сплава Никель 201, подробная характеристика которого приведена нами в работе [6]. Недостатком данного сплава является его невысокая абразивная стойкость, то есть способность материала сохранять свои первоначальные свойства под воздействием трения, износа или воздействия на поверхность твердых частиц, присутствующих



в жидкости. В работе [6] установлено, что отложения в трубопроводах каустика состоят в основном из оксида никеля  $\beta$ -NiO, образующегося при температуре выше 252 °С и имеющего более высокую твердость, чем сплав Никель 201. В связи с этим при значительной скорости потока раствора гидроксида натрия кристаллы оксида никеля воздействуют на поверхность сплава как абразивные частицы, что приводит к ее эрозии и, как следствие, к постепенному утонению стенки трубопроводов [7–10]. Поскольку никелевый сплав обладает высокой стоимостью, актуальной является задача его замены более дешевыми материалами, не уступающими в рассматриваемых условиях по коррозионной стойкости и превосходящих по твердости.

В работе [11] показано, что аустенитная сталь 10Х23Н18 является «совершенно стойкой» в растворах гидроксида натрия по шкале коррозионной стойкости (1 балл). Поскольку она имеет более низкую стоимость по сравнению со сплавом Никель 201, было рекомендовано использовать данную сталь в качестве альтернативного материала для изготовления труб, эксплуатируемых при комнатной температуре в растворах гидроксида натрия.

В настоящей работе приведены результаты дальнейших исследований возможности замены дорогостоящего сплава Никель 201 более дешевым материалом – аустенитной сталью 06ХН28МДТ – в аналогичных условиях, а именно: проведен сравнительный анализ коррозионной стойкости сплава Никель 201 и аустенитной стали 06ХН28МДТ в растворах гидроксида натрия различной концентрации.

## 2. Материалы и методика

Методология и методики проведенных исследований подробно изложены в [11]. В качестве материалов использовали аустенитную коррозионно-стойкую хромоникельмолибденовую сталь 06ХН28МДТ (другие обозначения: 0Х23Н28М3Д3Т и ЭИ943) и сплав Никель 201. Химический состав материалов представлен в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав сплава Никель 201, %

Ni	Cu	Mn	C	Si	S	Fe
> 99,0	< 0,25	< 0,35	< 0,02	< 0,35	< 0,01	< 0,40

Таблица 2

Химический состав стали 06ХН28МДТ, %

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Ti	Cu
36,9–46,5	< 0,06	< 0,8	< 0,8	26–29	< 0,02	< 0,035	22–25	2,5–3,0	0,5–0,9	2,5–3,5

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.

При гравиметрическом методе скорость коррозии характеризуется массовым показателем  $K_m$  (г/м<sup>2</sup> · ч):

$$K_m = \frac{m_1 - m_0}{S \cdot \tau}, \quad (1)$$

где  $m_1$  – масса образца после испытания, г;  $m_0$  – масса образца до испытания, г;  $S$  – площадь поверхности образца, м<sup>2</sup>;  $\tau$  – время экспозиции, ч.



Массовый показатель пересчитывали в глубинный  $\Pi$  (мм/год), который характеризует утонение образца в единицу времени:

$$\Pi = \frac{K_m}{\rho} \cdot 8760 \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

где  $\Pi$  – глубинный показатель скорости коррозии стали, мм/год;  $K_m$  – массовый показатель коррозии (г/м<sup>2</sup>·ч); 8760 – количество часов в году;  $\rho$  – плотность металла, г/см<sup>3</sup>; 10<sup>-3</sup> – коэффициент пересчета.

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

Твердость материалов определяли по методу Роквелла на твердомере ТКС-1 по ГОСТ 9013-59. Рентгенофазовый анализ образцов и образовавшихся на них пленок проводили при комнатной температуре с помощью рентгеновского дифрактометра Rigaku Ultima IV (Япония).

После подготовки в соответствии с ГОСТ 9.908-85 образцов из сплава Никель 201 и стали 06ХН28МДТ их помещали в колбы с 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 взвешивали на аналитических весах.

Относительная ошибка измерений массы образцов на аналитических весах составляла 0,2 %.

### 3. Результаты и их обсуждение

Результаты испытаний образцов из сплава Никель 201 в средах различной концентрации представлены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты испытаний

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

Зависимость глубинного показателя скорости коррозии сплава Никель 201 от концентрации гидроксида натрия представлена на рис. 1. Она имеет нелинейный характер с экстремумом при 65 %, левее которого скорость коррозии растет, а правее – уменьшается. Как известно [12], этот факт связан с постепенным формированием защитной пленки на поверхности металла, то есть с его пассивацией. При дальнейшем увеличении концентрации едкого натра наступает перепассивация сплава, т. е. нарушение его пассивного состояния, которое возника-

ет при превышении электродным потенциалом металла критического значения, вследствие чего меняется характер протекающих на его поверхности реакций. Убедительным объяснением явления перепассивации представляются соображения, приводимые Н. Д. Томашовым и В. П. Батраковым: в средах с весьма положительным окислительно-восстановительным потенциалом образуются оксиды металлов высших валентностей, хорошо растворимые в данных условиях, дающие при этом катионы металла высшей валентности и поэтому не проявляющие защитных свойств [13, 14].

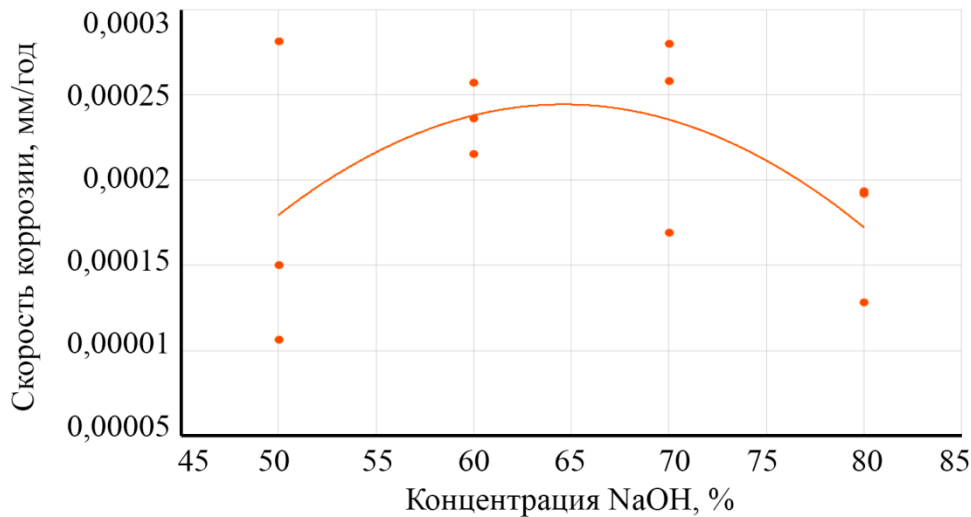


Рис. 1. Зависимость скорости коррозии сплава Никель 201 от концентрации NaOH

Результаты аналогичных испытаний стали 06ХН28МДТ представлены в таблице 4.

Таблица 4

Результаты испытаний

Среда NaOH	$S, \text{ м}^2$	$m_1, \text{ г}$	$m_2, \text{ г}$	$K_m \cdot 10^{-3}, \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$	$P \cdot 10^{-3}, \text{ мм/ГОД}$
60 %	0,00279	19,1812	19,1807	0,110	0,122
	0,00323	22,3632	22,3625	0,133	0,148
	0,00339	22,9433	22,9425	0,145	0,161
70 %	0,00164	10,8969	10,8963	0,225	0,250
	0,00173	11,1985	11,1980	0,178	0,198
	0,00165	10,8326	10,8320	0,223	0,248
80 %	0,00179	11,6095	11,6090	0,171	0,191
	0,00152	10,3057	10,3052	0,202	0,225
	0,00147	9,4902	9,4900	0,0836	0,093

На графике (рис. 2) прослеживается схожая тенденция зависимости глубинного показателя скорости коррозии стали 06ХН28МДТ от концентрации гидроксида натрия, однако при более низких его значениях, что свидетельствует о лучшей коррозионной стойкости данной стали в рассматриваемых условиях. Это связано с различным химическим составом исследуемых материалов и, как следствие, с разным строением пассивных пленок. Как показал рентгенофазовый анализ, пленка на поверхности сплава Никель 201 состоит преимущественно из оксида никеля  $\alpha\text{-NiO}$ , а на стали 06ХН28МДТ – из оксида никеля  $\alpha\text{-NiO}$  и оксида хрома  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , что и объясняет ее более высокую коррозионную стойкость. Максимум скоро-

сти коррозии достигается при более высокой концентрации NaOH (71 %), после чего образовавшаяся пленка начинает выполнять свою защитную функцию.

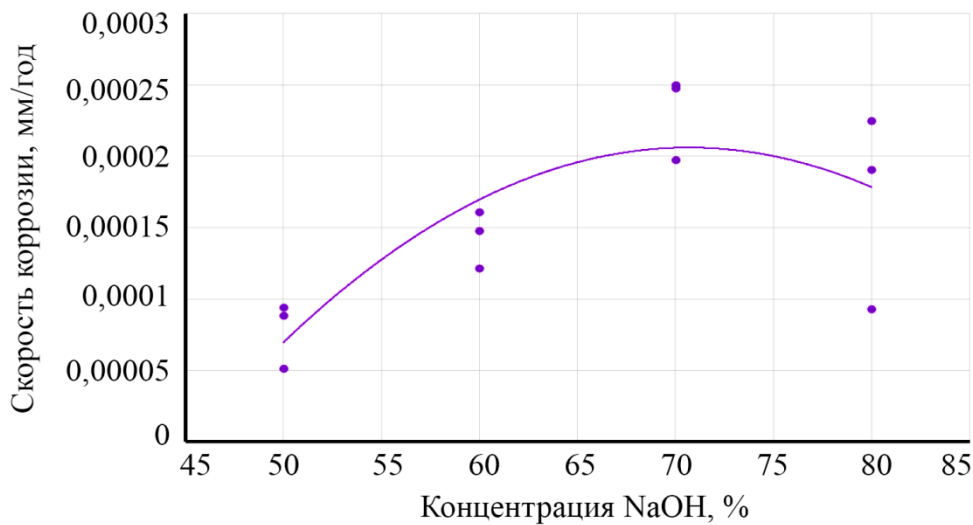


Рис. 2. Зависимость скорости коррозии стали 06XN28МДТ от концентрации NaOH

Совмещенный график этой зависимости (рис. 3), построенный по средним значениям глубинного показателя коррозии образцов, особенно наглядно иллюстрирует изложенное.

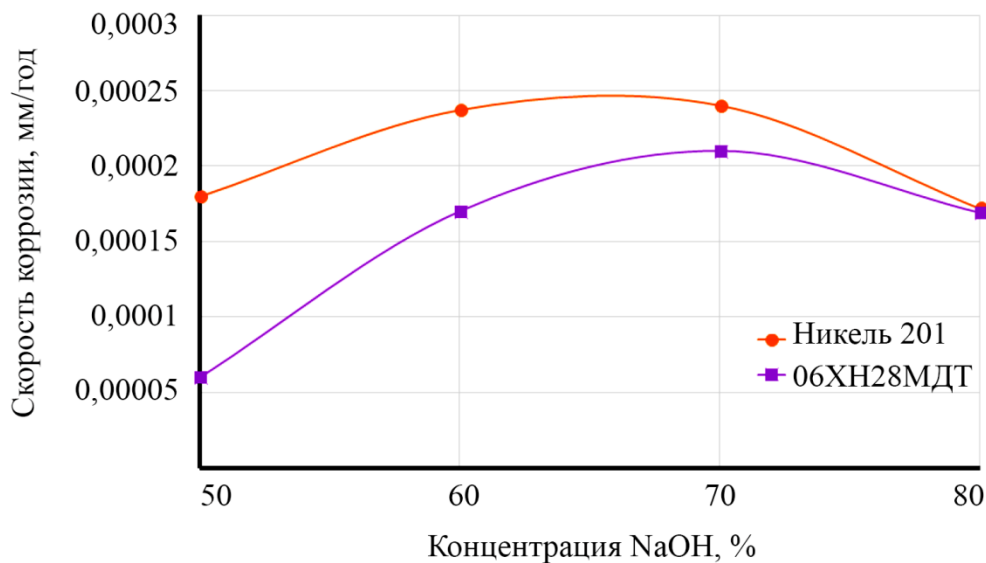


Рис. 3. Совмещенный график зависимости скорости коррозии от концентрации NaOH

Таким образом, показано, что сталь 06XN28МДТ обладает в целом более высокой коррозионной стойкостью в растворах гидроксида натрия, чем сплав Никель 201.

Результаты измерения твердости образцов (HRC) из сплава Никель 201 и стали 06XN28МДТ представлены в таблице 5.

Некоторое снижение твердости стали 06XN28МДТ при росте концентрации раствора NaOH объясняется усилением хемомеханического эффекта, вызывающего пластификацию поверхностных слоев материала в среде электролита [15, 16]. В случае сплава Никель 201 данный эффект проявляется в меньшей степени вследствие более высокой пассивируемости материала. Данный сплав имеет низкую концентрацию углерода, за счет чего выдерживает достаточно высокие температуры и не подвержен под их влиянием графитизации [17, 18].



Кроме того, в нем отсутствуют легирующие элементы, что исключает образование карбидов, которые способны существенно повысить твердость сплава, как это имеет место у стали 06ХН28МДТ, в которой, по данным рентгенофазового анализа, присутствуют карбиды хрома  $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$ . Для предотвращения межкристаллитной коррозии эту сталь стабилизируют Ti в количестве не менее  $5 \times \% \text{C}$ , т. е. не менее 0,3 % (в составе 0,5–0,9 %).

Таблица 5

Значения твердости образцов из сплава Никель 201 и стали 06ХН28МДТ в зависимости от концентрации раствора NaOH

Материал	Концентрация раствора, %			
	50	60	70	80
06ХН28МДТ	50	60	70	80
Средние значения твердости	29,1	28,3	25,5	23,8
Материал	Концентрация раствора, %			
	50	60	70	80
Никель 201	50	60	70	80
Средние значения твердости	7,8	7,3	5,1	5,2

Из таблицы 5 следует, что сталь 06ХН28МДТ обладает значительно большей твердостью по сравнению со сплавом Никель 201. Поскольку с увеличением твердости износостойкость материала возрастает [19, 20], сталь 06ХН28МДТ, помимо лучшей коррозионной стойкости, является и более износостойким материалом. Присутствие в ней хрома, никеля, молибдена и титана обеспечивает также высокие прочность и ударную вязкость как при комнатной, так и при повышенной температуре. Сталь 06ХН28МДТ имеет удовлетворительную свариваемость и является высокотехнологичной.

#### 4. Заключение

Показано, что сталь 06ХН28МДТ в растворах гидроксида натрия не только не уступает по своей коррозионной стойкости и твердости сплаву Никель 201, но и в некоторой степени превосходит его, особенно в части сопротивления износу, поэтому она может быть рекомендована в качестве замены сплава Никель 201 для изготовления труб, эксплуатируемых при комнатной температуре в данной коррозионной среде.

#### Литература

1. Ермаков А. Е., Филипов Д. А. Анализ причин отказов промышленных трубопроводов // Научный электронный журнал «Меридиан». – 2020. – Т. 39, № 5. – С. 1–4. – URL: <https://meridian-journal.ru/site/articlef42a/>
2. Ивановский В. Н. Теоретические основы процесса коррозии нефтепромыслового оборудования // Инженерная практика. – 2010. – № 6. – С. 4–14.
3. Копытова Н. П. Защита от коррозии промышленных трубопроводов // Проблемы современной науки и образования. – 2017. – Т. 90, № 8. – С. 19–22.
4. Роствинская А. С., Роствинская В. С. Коррозия – ущерб экономике и способы борьбы с ней // Трибуна ученого. – 2020. – № 2. – С. 57–64.
5. Семенова И. В., Флорианович Г. М., Хорошилов А. В. Коррозия и защита от коррозии / под ред. И. В. Семеновой. – М. : Физматлит, 2002. – 327 с.
6. Исследование причин отказов трубопроводов из никелевого сплава при воздействии высоких температур / В. В. Кравцов, А. С. Тюсенков, Р. Г. Ризванов, А. Ф. Летов, Р. М. Дворецков // Нефтегазовое дело. – 2021. – Т. 19, № 3. – С. 110–120.





7. Мальцева Г. Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии : учеб. пособие / под ред. С. Н. Виноградова. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2000. – 211 с.
8. Рубцов А. В., Чиркова А. Г. Анализ механических свойств сварных соединений с различным уровнем накопления повреждений // 54-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, Уфа, 01–10 апреля 2003 г. : тезисы. – Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2003. – С. 243.
9. Материаловедение и технология конструкционных материалов / А. С. Тюсенков, С. Е. Черепашкин., М. А. Худяков, С. А. Ямщикова, О. А. Насибуллина. – Уфа : Нефтегазовое дело, 2018. – 94 с.
10. Шварц Г. Л., Кристаль М. М. Коррозия химической аппаратуры. Коррозионное растрескивание и методы его предотвращения. – М. : Машгиз, 1958. – 204 с.
11. Абдульманова Р. Р., Тюсенков А. С., Бугай Д. Е. О преимуществах применения стали 10X23N18 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.
12. Эванс Ю. Р. Коррозия, пассивность и защита металлов / пер. с англ.; под ред. Г. В. Акимова. – Москва ; Ленинград : Металлургиздат, 1941. – 888 с.
13. Томашов Н. Д., Чернова Г. П. Пассивность и защита металлов от коррозии. – М. : Наука, 1965. – 208 с.
14. Батраков В. П. Коррозия конструкционных материалов в агрессивных средах : справочник / под ред. Г. В. Акимова. – М. : Оборонгиз, 1952. – 452 с.
15. Гутман Э. М. Механохимия металлов и защита от коррозии. – М. : Металлургия, 1974. – 232 с.
16. Поверхность и поверхностные явления / И. Р. Кузеев, Е. А. Наумкин, Ю. Н. Савичева, С. В. Попова. – Уфа : УГНТУ, 2008. – 144 с.
17. Фомин В. В. Гидроэрозия металлов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1977. – 287 с.
18. Клинов И. Я. Коррозия химической аппаратуры и коррозионностойкие материалы. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машгиз, 1960. – 511 с.
19. Кашеев В. Н., Глазков В. М. Изнашивание в потоке движущихся абразивных частиц // Методы испытания на изнашивание : труды совещания, состоявшегося 7–10 дек. 1960 г. – Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1962. – 238 с.
20. Виноградов В. Н., Сорокин Г. М., Албагачиев А. Ю. Изнашивание при ударе. – М. : Машиностроение, 1982. – 192 с.