



**КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА
ОТ КОРРОЗИИ – ОБЩИЕ
ВОПРОСЫ**

**CORROSION AND PROTECTION
CORROSION PROTECTION –
GENERAL ISSUES**

doi: 10.31615/j.corros.prot.2021.100.2-2.

**Коррозионные испытания Хастеллоя G 35 на стойкость против
межкристаллитной коррозии**

Ю.Ф. Гордеева¹✉, Е.С. Филатов², А.С. Дербышев¹, В.Я. Кудяков²

¹Свердловский научно-исследовательский институт химического машиностроения,
РФ, 620010, г. Екатеринбург, ул. Грибоедова, д. 32

²Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения РАН,
РФ, 620066, г. Екатеринбург, ул. Академическая, д. 20

e-mail: julia100990@inbox.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу коррозионного поведения и оценке стойкости Хастеллоя G 35. Сплавы (стали) на основе никеля, содержащие хром, молибден, вольфрам, возможно, железо широко используются в качестве материалов для изготовления оборудования в высокотемпературных технологических процессах с применением растворов высоко-гигроскопических галогенидов (хлоридов) в расплавленных галогенидах (хлоридах) щелочных металлов. В процессе эксплуатации оборудования определяется подверженность поверхности аппаратов и трубопроводов коррозии. В данном испытании использовались 4 образца размером 80×20×3 мм, из которых 2 образца подверглись провоцирующему нагреву, а 2 образца исследовались в обычном состоянии. Испытания проводились в кипящем водном растворе сернистой окисной кислоты и серной кислоты в течение 48±0,25 ч. Далее осмотр изогнутых образцов проводился с помощью микроскопа марки МБС-9 с увеличением х8. Также представлены результаты коррозионных испытаний. В результате исследования рассчитана скорость коррозии сплава. Представлена микроструктура Хастеллоя. Средняя глубина разрушения определялась из шести максимальных значений, выявленных в шести полях зрения. По результатам исследований сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: коррозия, Хастеллой G 35, провоцирующий нагрев, межкристаллитная коррозия (МКК), скорость коррозии.

Для цитирования: Гордеева Ю.Ф., Филатов Е.С., Дербышев А.С., Кудяков В.Я. Коррозионные испытания Хастеллоя G 35 на стойкость против межкристаллитной коррозии // Практика противокоррозионной защиты. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 27-31. doi: 10.31615/j.corros.prot.2021.100.2-2.

Статья получена: 07.02.2021, опубликована 01.06.2021.

Hastelloy G 35 corrosion tests for intergranular corrosion resistance

J.F. Gordeeva¹✉, E.S. Filatov², A.S. Derbyshev¹, V.Ya. Kudryakov²

¹Sverdlovsk Research Institute of Chemical Engineering,
32, st. Griboedova, Yekaterinburg, 620010, Russian Federation

²The Institute of High Temperature Electrochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
20, st. Akademicheskaya, Yekaterinburg, 620066, Russian Federation

e-mail: julia100990@inbox.ru

Abstract. The article is devoted to the analysis of corrosion behavior and assessment of the resistance of Hastelloy G 35. Nickel-based alloys (steels) containing chromium, molybdenum, tungsten, possibly iron are widely used as materials for the manufacture of equipment in high-temperature technological processes using solutions of highly hygroscopic halides (chlorides) in molten halides (chlorides) of alkali metals. During the operation of the equipment, the instability of the surface of apparatus and pipelines to corrosion is determined. In this test, 4 samples of 80×20×3 mm were used, of which 2 samples were subjected to provoking heating, and 2 samples were examined in their normal state. Our tests were carried out in a boiling aqueous solution of iron sulfate and sulfuric acid for 48 ± 0.25 h. Further, the bent samples were examined using an MBS-9 microscope with a magnification of x8. The results of corrosion tests are also presented. As a result of the study, the rate of penetration of corrosion of the alloy was calculated. Hastelloy microstructure is presented. The average depth of destruction was determined from the six maximum values detected in six fields of view. According to the research results, the corresponding conclusions were made.

Keywords: corrosion, Hastelloy G 35, provoking heating, intergranular corrosion, corrosion rate.

For citation: Gordeeva, J. F., Filatov, E. S., Derbyshev, A. S., Kudyakov, V. Ya. Hastelloy G 35 corrosion tests for intergranular corrosion resistance. (2021). *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 26 (2), 27-31. doi:10.31615/j.corros.prot.2021.100.2-2.

Received: February 07, 2021. Published: June 01, 2021.

Введение

Данные испытания показывают, что при процессе эксплуатации оборудования обнаружена поврежденность поверхности аппаратов и трубопроводов в результате коррозии. Сплав Хастеллой G 35 используется для изготовления аппаратуры, применяемой в технологии получения чистого циркония очисткой от гафния в хлоралюминатном расплаве [1, 2].

Проведение испытаний

Выполняли отбор образцов для испытаний, определяли их размеры, проводили механическую обработку и подготовку поверхности согласно методике [3]. Сущность испытания заключается в выдержке образцов сплава в кипящем водном растворе сернокислого железа окисного в серной кислоте с массовой долей 30 % плотностью 1,219 г/см³. Продолжительность испытаний в кипящем растворе (48±0,25) ч.

В испытании использовались 4 образца размером 80×20×3 мм, из которых 2 образца подверглись провоцирующему нагреву, а 2 образца исследовались в обычном состоянии. Температура провоцирующего нагрева составляла (800±10) °С с выдержкой в печи после установления заданной температуры в течение 30 мин. и с охлаждением на воздухе. Оценка результатов испытаний образцов сплава выполнялась металлографическим и гравиметрическим методами, а также методом изгиба. Осмотр изогнутых образцов проводился с помощью микроскопа марки МБС-9 с увеличением х8.

Наличие и глубина межкристаллитной коррозии устанавливались на протравленных шлифах при увеличении от х200 до х800. Шлиф просматривался с двух сторон по толщине образца, прошедшего коррозионные испытания. Средняя глубина разрушения определялась из шести максимальных значений, выявленных в шести полях зрения. Эти поля зрения включали участки с наибольшей глубиной межкристаллитной коррозии (МКК).

Свидетельством склонности к МКК при металлографическом контроле является разрушение границ зерен на глубину более 30 мкм.

Результаты коррозионных испытаний Хастеллой G 35 в обычном состоянии на стойкость против МКК приведены в табл. 1, а на рис. 1-3 показаны внешний вид образцов

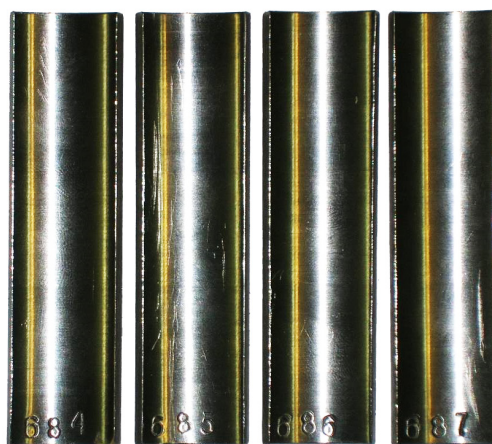


Рис. 1. Внешний вид образцов до испытаний

Fig. 1. Appearance of samples before testing

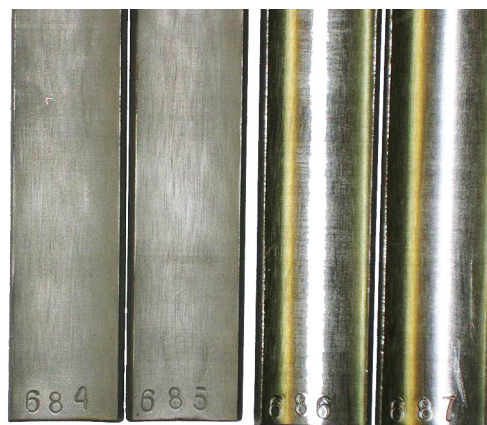


Рис. 2. Внешний вид образцов с провоцирующим нагревом (а, б) и в обычном состоянии (с, д) после испытаний на стойкость против МКК

Fig. 2. Appearance of samples with provoking heating (a, b) and in normal state (c, d) after tests for resistance to intergranular corrosion



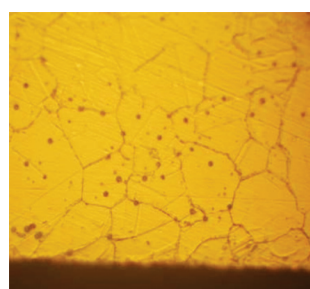
Рис. 3. Внешний вид образцов, исследованных методом изгиба, с провоцирующим нагревом (а, б) и в обычном состоянии (с, д) после испытаний на стойкость против МКК

Fig. 3. Appearance of samples with provoking heating (a, b) and in normal state (c, d) after tests for resistance against intergranularity studied by the bending method

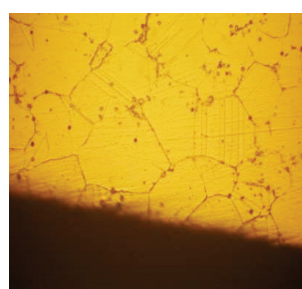
Таблица 1. Результаты коррозионных испытаний Хастеллоя G 35 на стойкость против МКК

Table 1. Results of corrosion tests of Hastelloy G 35 for resistance to intergranular corrosion

Сплав / Alloy	Провоц. термообработка / Provoking heat treatment	Результаты испытаний / Test results		
		Метод изгиба / Bending method	Металлографиче- ский метод, глубина поражений, мкм / Metallographic method, depth of lesions, microns	Скорость коррозии, мм/год / Corrosion penetration rate, mm/year
Хастеллой G 35 / Hastelloy G 35	+	–	Нет	0,947
	–	–	Нет	0,949



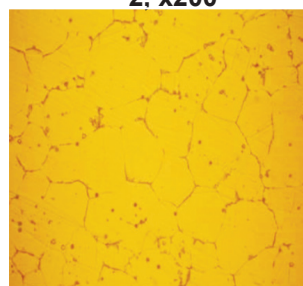
1, x200



2, x200



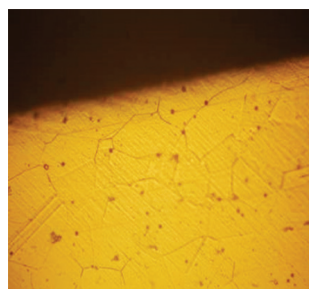
3, x200



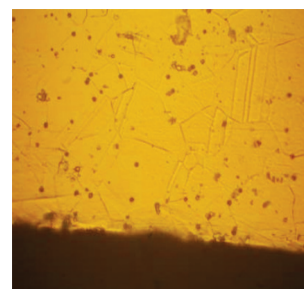
4, x800

Рис. 4. Микроструктура образца металла с провоцирующим нагревом после испытаний на стойкость против МКК: 1, 2 – структура основного металла по краям образца, структура аустенитная, зерно № 6; зернограничные выпадения карбидов в виде разорванной сетки, коррозионных поражений нет; 3, 4 – структура основного металла в центре образца, скорость коррозии 0,947 мм/год

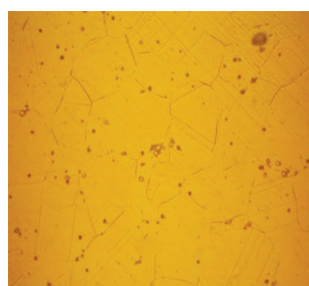
Fig. 4. Microstructure of the metal sample with provoking heating after tests for resistance to intergranular corrosion: 1, 2 – the structure of the basic metal at the edges of the sample, the structure is austenitic, grain No. 6; grain-boundary precipitation of carbides in the form of a broken mesh, there is no depth of corrosion damage; 3, 4 – the structure of the basic metal in the center of the sample, the corrosion penetration rate is 0,947 mm/year



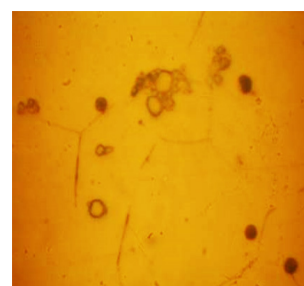
1, x200



2, x200



3, x200



4, x800

Рис. 5. Микроструктура металла образца в обычном состоянии испытаний на стойкость против МКК: 1, 2 – структура основного металла по краям образца; структура аустенитная, зерно № 6, зернограницных выпадений карбидов нет; 3, 4 – структура основного металла в центре образца, скорость коррозии 0,949 мм/год

Fig. 5. Microstructure of the metal sample in the usual state of tests for resistance to intergranular corrosion: 1, 2 – the structure of the basic metal at the edges of the sample; austenitic structure, grain No. 6, there is no grain-boundary precipitation of carbides; 3, 4 – the structure of the base metal in the center of the sample, the corrosion penetration rate is 0,949 mm/year

после провоцирующего нагрева до и после испытаний на стойкость против МКК. На рис. 4 и 5 показаны микроструктуры металла образцов после испытаний на стойкость против МКК [4].

Выводы

Из табл. 1 следует, что при оценке результатов испытаний как методом изгиба, так и металлографическим методом образцы из сплава Хастеллой G 35 после провоцирующего нагрева оказались стойкими против МКК, а скорость коррозии составила 0,947 мм/год.

Образцы сплава Хастеллой G 35 в обычном состоянии (без провоцирующего нагрева) после испытаний были также стойкими против МКК при испытаниях как методом изгиба, так и металлографическим методом (коррозионных поражений от МКК нет). Скорость коррозии образцов

составила 0,949 мм/год, поверхность образцов после испытаний осталась блестящей, следов коррозии на поверхности не наблюдалось. При этом скорости коррозии на образцах с провоцирующим нагревом и без него практически были равными – соответственно 0,947 мм/год и 0,949 мм/год.

Литература

1. Штуца М.Г. // Материалы научно-технической конференции «Цирконий XXI века». – Глазов, 2014. – С. 5-10.
2. Karpov V.V., Bazhenov A.V., Abramov A.V. [et.al.] Corrosion resistance of alloys of Hastelloy in chloroaluminate melts // *Chimica Techno Acta*. – 2015. – V. 2, № 2. – P. 131-138.
3. Сплавы на никелевой основе. Методы определения стойкости против межкристаллитной коррозии: РД 24.200.15-90. – Введ. 1991–04–01. – М.: Издательство стандар-



тов, 1991.

4. Смирнов М.В., Озеряная И.Н. Коррозия металлов в расплавленных солевых средах и защита от коррозии // Коррозия и защита от коррозии (Итоги науки и техники). – 1973. – Т. 2. – С. 171-208.

References

1. Stutsa, M. G. (2014). In *Zirconium XXI century*. Russia, Glazov, 5-10.
2. Karpov, V. V., Bazhenov, A. V. (2015).

Corrosion resistance of alloys of Hastelloy in chloroaluminate melts, *Chimica Techno Acta*, 131-138.

3. Nickel-based alloys. Methods for determination of resistance against intergranular corrosion. (1991). RD 24.200.15-90. Introduction. 1991-04-01. Moscow: Standards Publishing House, 1991.

4. Smirnov, M. V., Ozerianaya, I. N. (1973). Corrosion of metals and corrosion protection. *Results of science and technology*. Moscow: VINITI, 2, 171-208.

Информация об авторах

Гордеева Юлия Фидасовна, инженер-исследователь, Свердловский научно-исследовательский институт химического машиностроения, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Филатов Евгений Сергеевич, д.х.н., с.н.с., Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Александр Семенович Дербышев, д.т.н., Свердловский научно-исследовательский институт химического машиностроения, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Кудяков Владимир Яковлевич, д.х.н., профессор, Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Information about authors

Julia F. Gordeeva, research engineer, postgraduate, Sverdlovsk Research Institute of Chemical Engineering, Yekaterinburg, Russian Federation

Evgeny S. Filatov, Doctor of Chemistry, senior researcher, The Institute of High Temperature Electrochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

Alexander S. Derbyshev, Doctor of Technical Sciences, Sverdlovsk Research Institute of Chemical Engineering, Yekaterinburg, Russian Federation

Vladimir Ya. Kudiyakov, Doctor of Chemistry, Professor, The Institute of High Temperature Electrochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russian Federation

В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова

Ингибирование сероводородной и углекислотной коррозии металлов. Универсализм ингибиторов

Объем издания: 15,25 п.л. (253 стр.)

Стоимость 550 руб.

В монографии обобщены литературные данные и результаты многолетних исследований, выполненных под руководством авторов по вопросам ингибирования коррозии углеродистой стали в сероводородных и углекислотных средах. Значительное внимание уделено разработке критериев защитной эффективности ингибиторов, особенностям кинетики и меха-

низма разрушения стали в присутствии H_2S и CO_2 в слабокислых и близких к нейтральным минерализованным средам. Анализируется действие большого количества промышленных ингибиторов и лабораторных образцов, в том числе на основе имидазолинов, алифатических, циклических и оксиэтилированных аминов. Рассматривается их защитная эффективность, влияние на кинетику электродных реакций, бактерицидные свойства, и интегральная токсикологическая характеристика, торможение твердофазной диффузии водорода и воздействие на сохраняемость механических свойств стали в сероводородных и углекислотных средах и при совместном присутствии H_2S и CO_2 .