



*The purpose of this work is development and research of cast boron materials and technology of their production, intended for work in corrosion environments.*

Н. Ф. НЕВАР, Ю. Н. ФАСЕВИЧ, Н. В. ЛОБАНОВСКАЯ, БНТУ

УДК 621.74:669.781

## БОР И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ ЛИТЫХ ИЗДЕЛИЙ

Коррозионная стойкость – это способность материалов сопротивляться коррозии, определяющаяся скоростью последней в данных условиях. Коррозионные испытания проводили в искусственно созданных и тщательно контролируемых условиях, при этом применяли многоканальную измерительную аппаратуру с непрерывной записью измеряемых показателей. Коррозионную стойкость исследуемого сплава определяли на образцах, вырезанных из готовых изделий. Испытания проводили в стеклянной колбе с обратным холодильником. На дно реакционного сосуда насыпали слой медной стружки, поверх которой загружали исследуемые образцы. Сравнительные испытания на стойкость против межкристаллитной коррозии выполняли по методу АМ с кипячением в течение 24 ч по ГОСТ 6032–89. Для оценки скорости коррозии используются как качественные, так и количественные характеристики [1, 2]. Изменения внешнего вида поверхности металла, его микроструктуры являются примерами качественной оценки скорости коррозии. Для количественной оценки можно использовать следующие параметры: время до появления первого коррозионного очага; число коррозионных очагов, образовавшихся за определенный промежуток времени; уменьшение толщины материала в единицу времени; изменение массы металла на единицу поверхности в единицу времени; объем газа, выделившегося (или поглощенного) в ходе коррозии единицы поверхности за единицу времени; плотность тока, соответствующая скорости данного коррозионного процесса; изменение какого-либо свойства за определенное время коррозии, например электросопротивления, отражательной способности материала, механических свойств.

Коррозионностойкие материалы (металлические и неметаллические) – это материалы, способ-

ные противостоять разрушительному воздействию агрессивных сред. Такие материалы применяются для изготовления аппаратов, трубопроводов, арматуры и других изделий, предназначенных для эксплуатации в условиях воздействия кислот, щелочей, солей, агрессивных газов и т. п. Под стойкостью материала понимают его способность сопротивляться коррозии в конкретной среде или группе сред. Однако следует отметить, что материал, стойкий в одной среде, может интенсивно разрушаться в другой.

Различные материалы имеют разную коррозионную стойкость, для повышения которой используются специальные методы. Так, повышение коррозионной стойкости возможно при помощи легирования (нержавеющие стали), нанесением защитных покрытий (хромирование, никелирование, алитирование, цинкование, окраска изделий), пассивацией и др. Устойчивость материалов к воздействию коррозии, характерной для морских условий, исследуется в камерах солевого тумана.

Коррозионностойкие сплавы, легированные бором, можно широко использовать в средах различной агрессивности, а также атомной энергетике благодаря их специфическим свойствам. Целью данной работы является разработка и исследование литых борсодержащих материалов и технологии их изготовления, предназначенных для работы в коррозионных средах [3].

Исследования проводили на образцах, вырезанных из тела отливки « Улитка корпуса насоса ». Химический состав сплава: С–0,2%, В–2,4, Si–0,31, Mn–2,0, Mo–0,35, Al–0,8, S, P–до 0,06%. Результаты испытаний на межкристаллитную коррозию проводили согласно ГОСТ 6032–84 после различных режимов теплового воздействия. Требования к коррозионной стойкости сплавов для этих изделий следующие:

- стойкость против межкристаллической коррозии (МКК) при испытаниях по методу АМ (ГОСТ 6032–84), в том числе против провоцирующего нагрева;

- общая коррозионная стойкость не ниже балла 2 (ГОСТ 13819–84) в водном растворе, содержащем 16 г/кг  $H_3BO_3$  с суммарной концентрацией калия, лития, натрия 0,05 + 0,35 г/кг при температуре 100 °С.

Образцы изделий испытывали на общую коррозионную стойкость в различных состояниях: без термообработки (литые, после профилирования); после закалки в воде после нагрева до 1100 °С и отпуска 200, 680 °С с выдержкой 0,5 ч, охлаждения на воздухе.

Результаты проведенных испытаний приведены в табл. 1.

В водном растворе, содержащем  $H_3BO_3$  и комплекс других компонентов при температурах 20–100 °С, сплав имеет достаточно высокую общую коррозионную стойкость: убыль массы за 2500±3000 ч испытаний не превышает 7,0 г/м, что в пересчете на глубинный показатель скорости коррозии составляет 3–5 мкм/год (балл 2–3, группа – стойкие материалы, ГОСТ 13819–68).

При автоклавных испытаниях (температура 150°С, давление от 0,48 МПа) скорость коррозии возрастает, достигая за 2000 ч испытаний 16 мкм/год. Результаты испытаний на общую коррозионную стойкость в водном растворе, содержащем

16 г/кг  $H_3BO_3$  с суммарной концентрацией калия, лития, натрия 0,05 + 0,35 г/кг при температуре 20 – 150 °С, приведены в табл. 2.

Результаты испытаний на стойкость против МКК сплавов после отпуска при температурах 200, 680 °С, выдержкой 0,5 ч показали, что сплав не проявляет склонности к этому виду коррозии. Трещины в зоне загиба образцов, подвергнутых кипячению в течение 15 и 24 ч, аналогичны трещинам на контрольных образцах (рис. 1). Загиб образцов без полного разрушения возможен не более чем на угол 30°.

Характер трещин и характеристики скорости коррозии, рассчитанные по весовому методу для образцов, подвергнутых кипячению по методу АМ в течение 15 и 24 ч, практически одинаковы для каждого испытания образца.

Сравнение количественных характеристик склонности к коррозии при всех вариантах испытаний на стойкость против МКК позволило оценить влияние температурного режима на пассивируемость в водном растворе.

Пассивные свойства нетермообработанного сплава после отпуска 680 °С несколько выше, чем после отпуска 200 °С. Результаты испытаний на стойкость против МКК после различных режимов отпуска представлены в табл. 3.

Однако практической разницы в значениях скорости общей коррозии литых борсодержащих сплавов, испытанных в водном растворе, содержа-

Т а б л и ц а 1. Результаты испытаний на МКК

Термическая обработка	Состояние поверхности загиба	Склонность к МКК
700 °С – 1 ч – охлаждение на воздухе	Общее растравление поверхности в начале загиба. Мелкие трещинки аналогичны трещинам до кипячения	Нет
800 °С–0,5 ч – вода	То же	Нет
800 °С–0,5 ч – воздух	То же	Нет
900 °С–0,5 ч – вода	То же	Нет
900 °С–0,5 ч – воздух	То же	Нет
1000 °С–0,5 ч – воздух	То же	Нет
1100 °С–0,5 ч – вода	Общее растравление поверхности; образец сломался в начале загиба. Мелкие трещинки, аналогичны трещинам до кипячения.	Нет

Т а б л и ц а 2. Результаты испытаний

Температура испытаний в термостатированной ячейке (при атмосферном давлении), °С	Коррозионные потери за время испытаний, ч									
	250		500		1000		2000		3000	
	убыль массы, г/м <sup>2</sup>	скорость коррозии, мкм/год	убыль массы, г/м <sup>2</sup>	скорость коррозии, мкм/год	убыль массы, г/м <sup>2</sup>	скорость коррозии, мкм/год	убыль массы, г/м <sup>2</sup>	скорость коррозии, мкм/год	убыль массы, г/м <sup>2</sup>	скорость коррозии, мкм/год
20	0,46	2,05	0,49	1,11	0,63	0,71	0,7	0,31	0,91	0,33
50	1,19	4,26	1,55	3,48	2,25	2,53	3,56	1,99	4,96	1,86
70	1,48	6,64	2,39	5,39	3,17	3,56	4,05	2,27	5,92	2,13
100	1,76	7,9	3,27	5,83	4,08	4,6	4,89	2,75	6,16	2,31
150	4,16	18,7	5,0	11,2	7,89	8,87	28,0	15,8	31,0	11,7

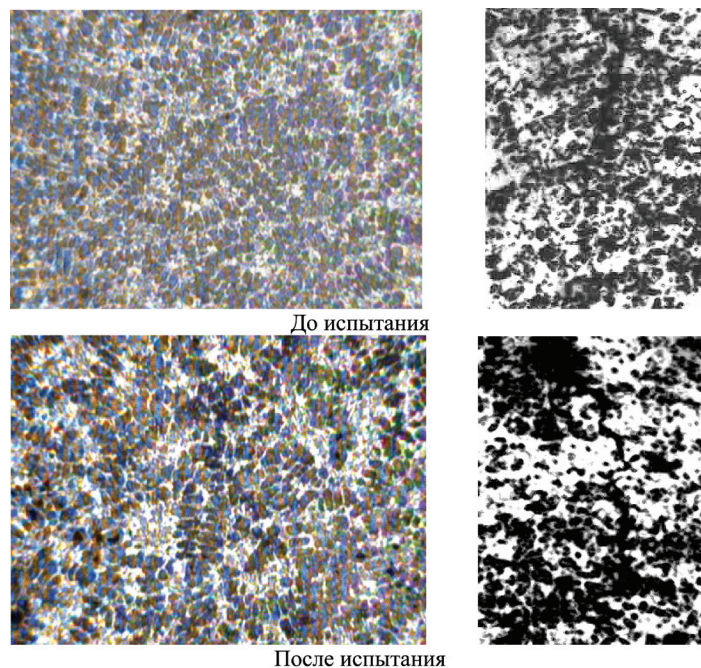


Рис. 1. Микроструктура сплавов в месте загиба при испытании на стойкость против межкристаллической коррозии.  $\times 300$

щем 16 г/кг  $H_3BO_3$  с суммарной концентрацией калия, лития, натрия 0,05 + 0,35 г/кг при температуре 100 °С, состояниях после отпуска 200–680 °С, не наблюдается (табл. 4, рис. 2).

Для кинетики коррозии во всем исследованном диапазоне температур характерно торможение во времени, особенно при температурах 100–150 °С (рис. 3, 4). Экспериментальные точки зна-

Т а б л и ц а 3. Результаты испытаний на стойкость против МКК после различных режимов отпуска

Температура, °С; длительность отпуска, ч	Метод испытаний	Длительность кипячения, ч	Результаты испытаний		Скорость коррозии, $г/(м^2 \cdot ч)$
			состояние поверхности	склонность к МКК	
Без последующей термической обработки	АМ	15	Некоторый растрав поверхности при загибе на угол 45°; трещины аналогичны трещинам на контрольных образцах	Нет	6,64
		24		Нет	5,90
Закалка + 200 °С; 0,5 ч	АМ	15	Растрав поверхности; при загибе на угол 45°; трещины аналогичны трещинам на контрольных образцах	Нет	8,48
		24		Нет	8,05
Закалка + 680 °С; 0,5 ч	АМ	15	То же	Нет	7,90
		24		Нет	6,80
Закалка + 800 °С; 0,5 ч	АМ	15	То же	Нет	8,66
		24		Нет	9,41

П р и м е ч а н и е. Среднее значение измерений из трех образцов.

Т а б л и ц а 4. Общая коррозионная стойкость в водном растворе борной кислоты после различных температур отпуска

Температура °С; давление, МПа	Температура отпуска, °С	Показатель коррозионной стойкости за время испытаний, ч							
		500		1000		2000		2500	
		убыль массы, $г/м^2$	скорость коррозии, $мкм/год$	убыль массы, $г/м^2$	скорость коррозии, $мкм/год$	убыль массы, $г/м^2$	скорость коррозии, $мкм/год$	убыль массы, $г/м^2$	скорость коррозии, $мкм/год$
100 °С; 1 МПа	200	–	–	3,5	3,9	5,0	2,5	6,4	2,9
	680	–	–	4,5	5,0	5,4	2,7	7,0	3,14
150 °С; 1,09 МПа (автоклав)	200	10,3	23,13	12,96	14,5	14,4	7,6	–	–
	680	6,0	13,5	8,0	9,0	16,3	8,7	–	–

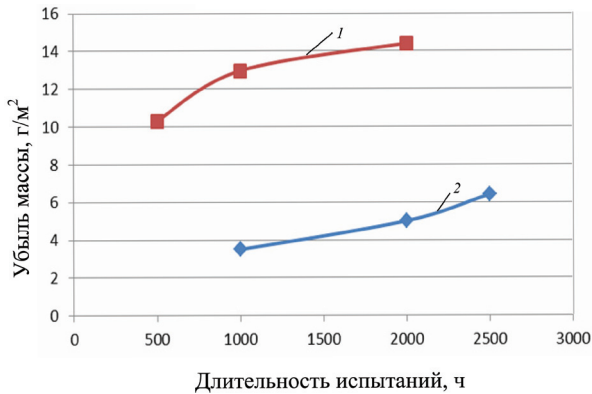


Рис. 2. Общая коррозионная стойкость после различных температур отпуска: 1 – при температуре отпуска 200 °С; 2 – при температуре отпуска 680 °С

чений убыли массы образцов изделий вне зависимости от температуры отпуска ложатся в области, ограниченные весьма небольшим разбросом данных.

Результаты испытаний доказали, что сплав обладает стойкостью против МКК в литом состоянии, а также после термической обработки с нагревом 800–1100 °С с последующим охлаждением в воде и на воздухе.

При изготовлении многих деталей машин горнодобывающей отрасли промышленности используются достаточно дорогостоящие основные и вспомогательные материалы. Проведенные исследования показали, что можно использовать более дешевые материалы с содержанием бора 1–3% и хрома 1,55%. При этом количество хрома снижено в 8–10 раз. Замена сплава на исследованный в работе приводит к значительной экономии феррохрома без ухудшения эксплуатационных свойств изделия. Работа в гидроабразивной среде приводит к быстрому выходу агрегата из строя. Проведение объемного упрочнения бором позволило увеличить срок службы рабочего органа. Таким образом, использование исследуемого сплава позволит снизить стоимость изделия и увеличить ресурс работы агрегата в 1,5–2,0 раза.

Коррозионную стойкость материалов можно повысить, если нанести на них защитные покрытия. Для защиты от атмосферной коррозии широко применяют цинкование, анодирование, алитирование (покрытие алюминием), никелирование, хромирование, эмалирование, а также нанесение орга-

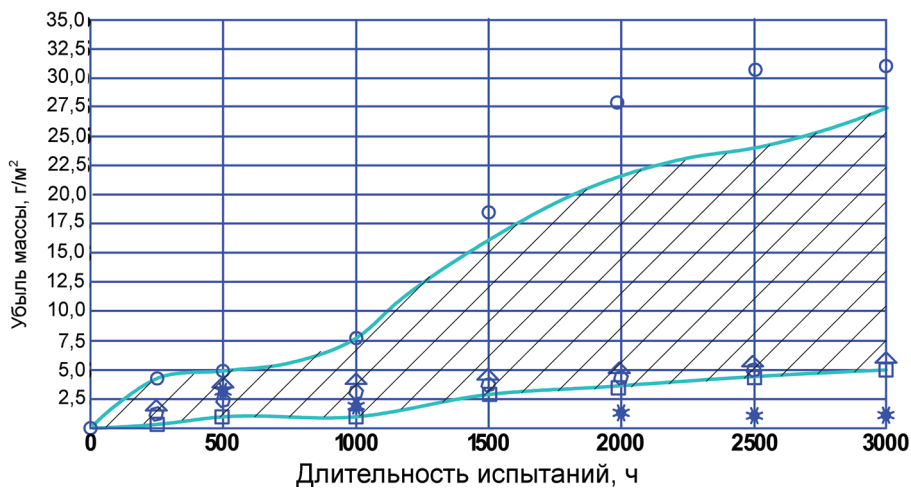


Рис. 3. Кинетика коррозии в водном растворе борной кислоты при температуре 100 °С и давлении 1,0 МПа

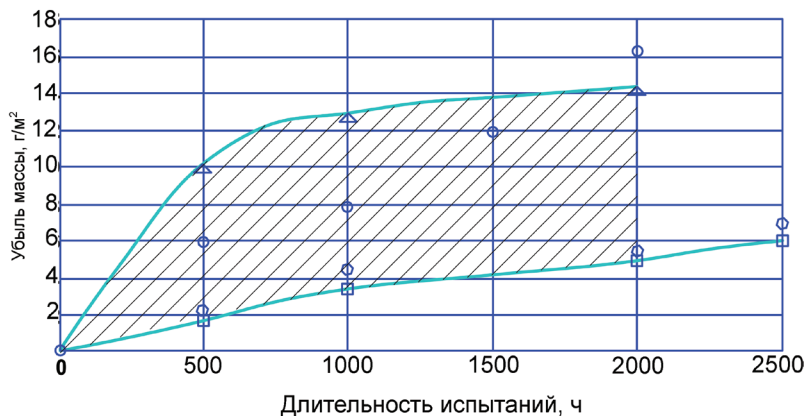


Рис. 4. Автоклавные испытания. Кинетика коррозии в водном растворе борной кислоты при температуре 150° С и давлении 1,09 МПа

нических материалов – лакокрасочных покрытий. Для замедления разрушения материалов в агрессивных средах широко используют ингибиторы коррозии.

#### **Выводы**

1. Исследуемый сплав обладает стойкостью против межкристаллитной коррозии в литом состоянии, а также после термической обработки, заключающейся в нагреве до 800–1100 °С с охлаждением в воде и на воздухе.

2. Сплав обладает коррозионной стойкостью в растворах кислот до 1000° С, в газовой среде до 1100–1200° С, а также высоким сопротивлением абразивному износу деталей.

3. Проведенные испытания показали повышенную стойкость получаемых литых изделий из разработанного борсодержащего сплава, что объясняется более высокой прочностью, а также особенностями структуры и свойств литого сплава.

#### **Литература**

1. Фокин М. Н., Жигалова К. А. Методы коррозионных испытаний металлов. М.: Металлургия, 1986.
2. Фрейман Л. И., Макаров В. А., Брыскин И. Е. Потенциометрические методы в коррозионных исследованиях и электрохимической защиты. Л.: Химия, 1972.
3. Невар Н. Ф., Фасевич Ю. Н. Исследование литейных свойств сплавов, упрочненных боридными фазами // Литье и металлургия. 2001. № 4. С. 43–44.