

Егор Анатольевич Бельтюков^{1*}, Аркадий Юрьевич Жиялков¹, Даниил Вадимович Пырин¹, Руслан Райманович Алимгулов¹

¹Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

*egorbel2259@gmail.com,

ВЛИЯНИЕ МЕТОДА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПЛАВА ХН62М НА ЕГО КОРРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

В статье приведен обзор влияния метода изготовления сплава на протекание коррозии в никелевом жаропрочном сплаве ХН62М в расплаве солей LiCl-KCl. Показано, что после коррозионных испытаний в среде солей LiCl-KCl при 650 °С в течение 30 часов коррозия протекает не равномерно. Исследованы микроструктуры сплава ХН62М, изготовленные по классической методике и с помощью электронно-лучевого аддитивного производства. Проанализировано влияние электронно-лучевого сплавления на структуру сплава ХН62М и его коррозионную стойкость.

Ключевые слова: коррозия, никелевый сплав, ХН62М, границы зерен, межкристаллитная коррозия, коррозия в соли LiCl-KCl, электронно-лучевое плавление.

Egor A. Belyukov, Arkady Y. Zhilyakov, Daniil V. Pyrin, Ruslan R. Alimgulov

INFLUENCE OF THE MANUFACTURING METHOD OF THE KHN62M ALLOY ON ITS CORROSION RESISTANCE

The article provides an overview of the influence of the alloy manufacturing method on the corrosion behavior of the nickel heat-resistant alloy HN62M in the molten LiCl-KCl salts. It is shown that after corrosion tests in the LiCl-KCl salts environment at 650 °C for 30 hours, corrosion does not proceed uniformly. The microstructures of the HN62M alloy manufactured by the classical method and using electron-beam additive manufacturing are studied. The effect of electron-beam alloying on the structure of the HN62M alloy and its corrosion resistance is analyzed.

Keywords: corrosion, nickel alloy, HN62M, grain boundaries, intercrystalline corrosion, corrosion in LiCl-KCl salt, electron beam melting.

ВВЕДЕНИЕ

Важные и перспективные технологии ядерной промышленности предъявляют все более высокие требования к используемым конструкционным материалам в данной сфере. Особый интерес в данной области представляют сплавы на основе никеля, устойчивые к коррозионному разрушению при 550...650 °С в агрессивных средах: расплавах хлоридов, фторидов и др.

Коррозионное поведение сплавов в данных условиях описывается в достаточном количестве работ, например [1...5]. В них обсуждается влияние

химического состава на скорость коррозии и очередность выхода из сплава различных компонентов, при этом хром оказывается наименее стабильным.

Кроме фазового состава на коррозионную стойкость влияет и структурное состояние сплавов. Известно [6], что дефекты кристаллического строения увеличивают диффузионную подвижность атомов в сплавах, что приводит к изменению в том числе коррозионного поведения сплавов. В основном [7] отмечают негативное влияние дефектов на коррозионную стойкость металлов.

Известно, что однофазные структуры более коррозионностойки по сравнению с многофазными, так как анодами в них являются дефектные участки кристаллов: дислокации, высоко- и малоугловые границы [8].

Поверхность же реальных поликристаллических твердых металлов состоит из поверхностей отдельных кристаллитов и пронизана узкими переходными участками, где кристаллическая структура сильно нарушена границами зерен. Дефекты кристаллической структуры, выходящие на поверхность металла, обладают повышенной реакционной способностью, и они являются первыми очагами коррозии [9].

Таким образом, данная работа направлена на исследование влияния количества границ зерен, выходящих на контактную поверхность сплав-коррозионная среда, на коррозионную стойкость никелевого сплава ХН62М.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве материала для исследования использовали коррозионностойкий аустенитный никель-хром-молибденовый сплав ХН62М, марочный химический состав которого приведен в таблице.

Таблица
Химический состав исследуемого сплава [10]

Сплав	Химический состав исследованных сплавов, масс. %			
	Cr	Mo	Fe	Ni
ХН62М	23,0...24,0	13,4	0,5	61,0...64,0

Сплав исследовался в двух состояниях: произведенный по классической методике и полученный электронно-лучевой плавкой. Коррозионные испытания проводились в расплаве солей LiCl-KCl при 650 °С в течение 30 часов. В качестве исходных соединений использовались хлорид лития (А.С.С., безводный, 99%+, Aldrich) и хлорид калия (ОСЧ 5–4, ТУ 6–09–3678–74).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные образцы исследовались методом МРСА. Изображения микроструктур представлены на рисунке 1.

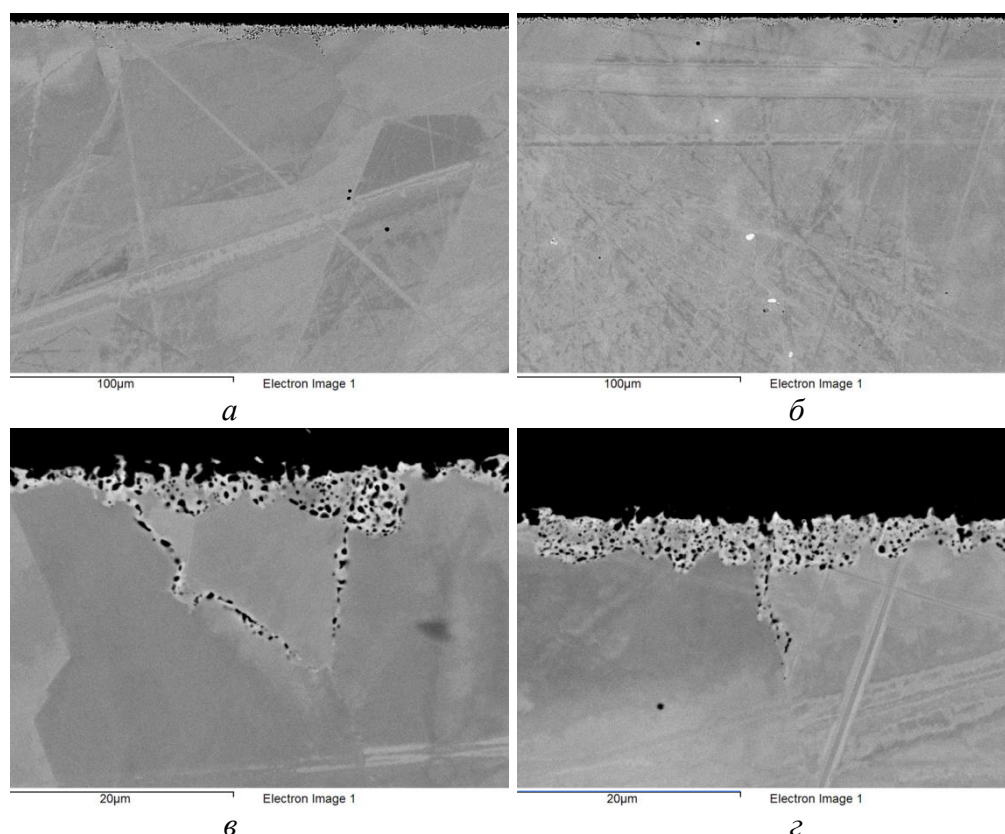


Рис. 1. Микроструктуры сплавов, произведенные по классической методике (а,в) и с помощью электронно-лучевого аддитивного производства (б,г)

Проведенный микрорентгеноспектральный анализ показал, что в первую очередь в солевой раствор уходит Cr, что согласуется с [1]. По представленным микроструктурам видно, что коррозия протекает не равномерно, быстрее по границам и медленнее по телу зерна, что также согласуется с данными [9].

По результатам коррозионных испытаний, скорость коррозии классического образца составляет 229 мкм/год, а образца, изготовленного электронно-лучевым методом равна 132 мкм/год, что в 1,7 раза меньше, чем у образца, произведенного классическим методом. Эта разница в скоростях коррозии предположительно связана с большим количеством границ зерен, которые сильно подвержены развитию межкристаллитной коррозии. Коррозия обоих образцов имеет селективный характер и представлена в виде «губчатой» структуры поверхности.

Таким образом, по результатам проведенной работы, можно сделать заключение, что образцы, изготовленные электронно-лучевым плавлением, обладают превосходящими коррозионными свойствами, относительно образцов изготовленных классическим способом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кочергин В.П. Высокотемпературная коррозия переходных металлов в ионных расплавах / В.П. Кочергин // Соровский образовательный журнал. 1997. № 8. С. 60-65.

2. Томашов Н.Д. Коррозия металлов в расплавленных солях / Н.Д. Томашов, Н.И. Тугаринов // Защита и коррозия сталей: сборник статей / под ред. Н.Д. Томашова. М.: МАШГИЗ, 1959. С. 89-109.
3. Взаимодействие металлического хрома с расплавленными хлоридами натрия, калия и их эквимольной смесью / Н.А. Красильникова, М.В. Смирнов, И.Н. Озеряная // Труды Института электрохимии Урал. Фил. АН СССР: Электрохимия расплавленных солевых и твердых электролитов. Вып. 18. Свердловск, 1972. С. 119-121.
4. Cho S.H. Cyclic Corrosion Behavior of Ni-Based Superalloys in Hot Lithium Molten Salt / S.H. Cho, S.B. Park, J.H. Lee, J.M Hur, H.S Lee // Oxid Met. 2012. № 78, P. 153-165.
5. Суренков А.И. Коррозионная и механическая стойкость никелевых сплавов в жидкосолевых ядерных реакторах / А.И. Суренков, В.В. Игнатьев, С.С. Абалин, С.А. Конаков, В.С. Углов // Атомная энергия. 2018. Т. 124. С. 34-39
6. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов: учебник / И. И. Новиков. М.: Металлургия, 1986. 392 с.
7. Химмушин Ф.Ф. Нержавеющие стали: учебник / Ф.Ф. Химмушин. М.: Металлургия, 1967, 798 с.
8. Коррозия строительных материалов: Монография / В.Н. Верни-горова [и др.]. М.: Издательство «Палеотип». 2007. 176 с.
9. Мальцева Г.Н. Коррозия и защита оборудования от коррозии: учеб. пос. / Г.Н. Мальцева. Пенза: Изд-во Пенз. гос. университета. 2000. 211 с.
10. Гамбург, А.С. Исследование нового никелевого сплава ХН62М на стойкость к межкристаллитной коррозии. Екатеринбург. 2018 г. 364...366 с.

REFERENCES

1. Kochergin V.P. High-temperature corrosion of transition metals in ionic melts / V.P. Kochergin // Sorovsky educational magazine. 1997. No. 8. pp. 60-65.
2. Tomashov N.D. Corrosion of metals in molten salts / N.D. Tomashov, N.I. Tugarinov // Protection and corrosion of steels: collection of articles / edited by N.D. Tomashov. M.: MASHGIZ, 1959. pp. 89-109.
3. Interaction of metallic chromium with molten sodium and potassium chlorides and their equimolar mixture / N.A. Krasilnikova, M.V. Smirnov, I.N. Ozeryanaya // Proceedings of the Institute of Electrochemistry of the Ural Branch of the USSR Academy of Sciences: Electrochemistry of molten salt and solid electrolytes. Issue 18. Sverdlovsk, 1972. pp. 119-121.
4. Cho S.H. Cyclic Corrosion Behavior of Ni-Based Superalloys in Hot Lithium Molten Salt / S.H. Cho, S.B. Park, J.H. Lee, J.M Hur, H.S Lee // Oxid Met. 2012. № 78, P. 153-165.
5. Surenkov A.I. Corrosion and mechanical resistance of nickel alloys in liquid salt nuclear reactors / A.I. Surenkov, V.V. Ignatiev, S.S. Abalin, S.A. Konakov, V.S. Uglov // Atomic Energy. 2018. Vol. 124. pp. 34-39.

6. Novikov I. I. Theory of heat treatment of metals: textbook / I. I. Novikov. M.: Metallurgy, 1986. p. 392.
7. Himmushin F.F. Stainless steels: textbook / F.F. Himmushin. M.: Metallurgy, 1967, p. 798.
8. Corrosion of building materials: A monograph / V.N. Vernigorova [et al.]. M.: Publishing house "Paleotype". 2007. p. 176.
9. Maltseva G.N. Corrosion and protection of equipment from corrosion: textbook / G.N. Maltseva. Penza: Penza State Publishing House. university. 2000. p. 211.
10. Hamburg, A.S. Investigation of a new nickel alloy KHN62M for resistance to intercrystalline corrosion. Yekaterinburg, 2018. p. 364...366.