

ЭЛЕКТРОНИКА

УДК 535-2+620.193

DOI: 10.34680/2076-8052.2024.1(135).9-22

ГРНТИ 29.21.26+81.33.07

Специальность ВАК 2.2.2; 1.3.8

Научная статья

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ УСТАНОВЛЕННОГО КОЛИЧЕСТВА ТОНА В ОТРАЖЕННОЙ СПЕКТРАЛЬНОЙ (ЦВЕТОВОЙ) ГРУППЕ И КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ОДНОФАЗНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМ NI-CR-MO: Х30Н60М9, HASTELLOY G-35 С ГЦК РЕШЕТКОЙ МАТРИЦЫ

Михайлов Д. Л.^{1, 2}, Ермишкин В. А.², Минина Н. А.²

¹ ООО «Промдеталь» (Великий Новгород, Россия)

² Институт металлургии и материаловедения имени А. А. Байкова РАН (Москва, Россия)

Аннотация В настоящей статье обсуждаются результаты корреляционного анализа между показателями (параметрами) установленного количества тона в спектральной группе отраженного видимого света и коррозионной стойкости для однофазных никелевых сплавов систем Ni-Cr-Mo: Х30Н60М9, Hastelloy G-35, имеющих структуру твердого раствора. Исходными данными для анализа явились данные, полученные в результате анализа тоновых составляющих отраженного видимого света путем расчета длины волны отраженного света. Разработанным ПО (софтом) были оценены количества тона в участвующих цветовых группах, отраженного видимого света, где тон оценивают по длинам волн, определяя участвующие цветовые группы. Далее количество тона, определенное в цветовой группе, пересчитывают на количество элементов изображения – пикселей, предлагая уже плотность тона в цветовой группе. Показатели скоростей коррозии были определены стандартным гравиметрическим способом, согласно ASTM G-28 «А». Соответствие параметров: тона и скоростей коррозии для рассматриваемых сплавов после различных термических обработок указало на их высокую отрицательную связь. Установленный факт позволяет утверждать, что большее значение тона определенное для пиксел фрагмента характеризует меньшую скорость коррозии, лучшую коррозионную стойкость в одинаковых условиях испытаний. Показатель коэффициент корреляции определен на уровне – 0,93.

Ключевые слова: коррозионная стойкость, количество тона, отраженный видимый свет, пиксел, длина волны, электроотрицательность, моль

Для цитирования: Михайлов Д. Л., Ермишкин В. А., Минина Н. А. Корреляционный анализ зависимости установленного количества тона в отраженной спектральной (цветовой) группе и коррозионной стойкости однофазных сплавов систем Ni-Cr-Mo: Х30Н60М9, Hastelloy g-35 с ГЦК решеткой матрицы // Вестник НовГУ. 2024. 1(135). 9-22. DOI: 10.34680/2076-8052.2024.1(135).9-22

Research Article

CORRELATION ANALYSIS OF THE DEPENDENCE OF THE ESTABLISHED AMOUNT OF TONE (HUE) IN THE REFLECTED SPECTRAL (COLOR) GROUP AND THE CORROSION RESISTANCE OF ALLOYS OF THE NI-CR-MO SYSTEM: KH30N60M9, HASTELLOY G-35 WITH FCC – LATTICE

Mikhailov D. L.^{1, 2}, Ermishkin V. A.², Minina N. A.²

Abstract This article discusses the results of a correlation analysis between the indicators (parameters) of the established amount of tone in the spectral group of reflected visible light and corrosion resistance for single-phase nickel alloys of the Ni-Cr-Mo: Kh30N60M9, Hastelloy G-35 systems with a solid solution structure. The initial data for the analysis were the data obtained as a result of the analysis of the tone

components of the reflected visible light by calculating the wavelength of the reflected light. The developed software estimated the amount of tone in the participating color groups, reflected visible light, where the tone is estimated by wavelength, determining the participating color groups. Further, the amount of tone determined in the color group is recalculated by the number of image elements - pixels, already offering the tone density in the color group. Corrosion rates were determined by a standard gravimetric method according to ASTM G-28 "A".

Correspondence of the parameters: tone and corrosion rates for the alloys under consideration after various heat treatments indicated their high negative connection. The established fact allows us to state that a larger tone value determined for the pixel fragment characterizes a lower corrosion rate and better corrosion resistance in identical test conditions. The indicator correlation coefficient is determined at the level of - 0.93.

Keywords: *corrosion resistance, tone quantity, reflected visible light, pixel, wavelength, electronegativity, mol*

For citation: Mikhailov D. L., Ermishkin V. A., Minina N. A. Correlation analysis of the dependence of the established amount of tone (hue) in the reflected spectral (color) group and the corrosion resistance of alloys of the ni-cr-mo system: kh30n60m9, hastelloy g-35 with fcc – lattice // Vestnik NovSU. 2024. 1(135). 9-22. DOI: 10.34680/2076-8052.2024.1(135).9-22

Введение

Под коррозионной стойкостью понимается способность материала сопротивляться коррозионному воздействию среды. В настоящее время коррозионную стойкость однофазных высоконикелевых конструкционных материалов оценивают гравиметрическим методом. Этот метод используется для определения скорости коррозии, выражение (1), с целью коррозионного контроля. Гравиметрический метод основан на измерении разности массы контрольных металлических образцов до и после экспозиции в коррозионной среде.

Скорость коррозии k (г/м²·ч) вычисляют по формуле:

$$k = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot \tau} \quad (1)$$

где m_1 – масса образца до испытания, г;

m_2 – масса образца после испытания, г;

S – поверхность образца, м²;

τ – время испытания, ч.

В настоящей работе проводится корреляционный анализ отраженного тона, рассчитанного по данным анализа изображения поверхности в цифровом графическом формате [1] и скорости коррозии, определенной гравиметрическим методом, для высоко-никелевых сплавов системы Ni-Cr-Mo: X30H60M9, Hastelloy G-35, имеющих ГЦК решетку.

Коррозионную стойкость материала прогнозируют с помощью рассчитанного нормированного количества тона в цветовой группе спектра, отнесенного на 1 пиксел, как элемента изображения. Удельный показатель количества тона, Q_{clp} , рассчитанного с помощью программы в координатах «длина волны отраженного видимого света от материала – соответствующее ей количество нормированного тона», определяет состояние параметра – скорости коррозии, характеризующего эксплуатационную пригодность материала.

Ниже приведены графические зависимости, «длина отраженной волны, λ_i , и соответствующее ей количество тона, Q_i », на рисунках 1, 2, 3, 4 и в таблицах 1, 2, 3, 4. Размер (Size) фрагмента изображения для пересчета удельной единицы одинаков для всех изображений и составляет 3300 x 625 пкс. Результаты получены согласно применения тонового метода [1].

Образец № 17, далее обр.17, сплав X30H60M9.



Рисунок 1А. Исходное цветное изображение фрагмента поверхности обр.17

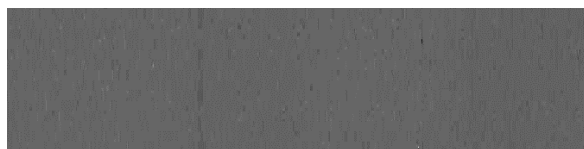


Рисунок 1Б. Серое изображение фрагмента поверхности обр.17

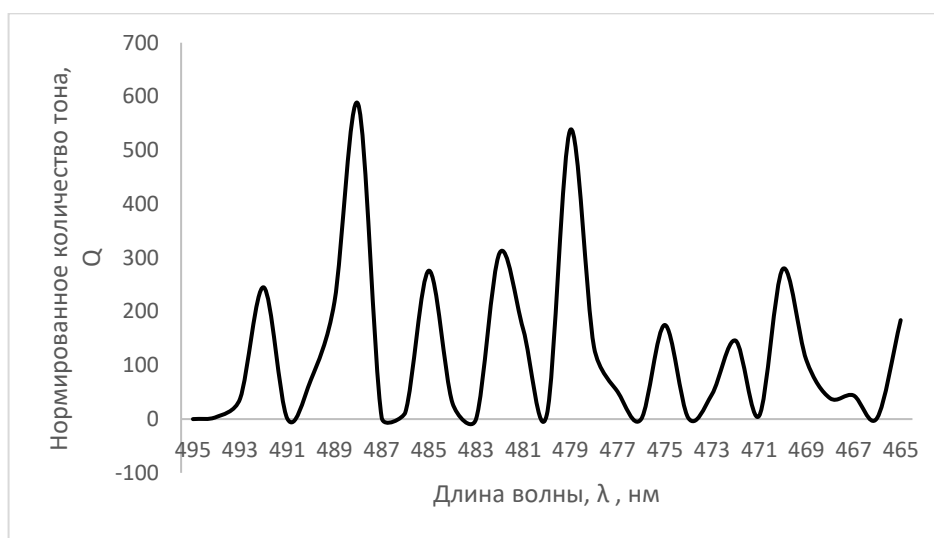


Рисунок 1В. Участие тоновых составляющих в цветовой группе обр. 17, график

Расчетное количество тона на пиксел:

– $Q_{clp\ 17} = S_{\text{тон}}/S_{\text{изобр.}} = 3705,5/(3300 \times 625) = 0,001797$, в цветовой группе синего цвета.

Таблица 1. Тоновые составляющие, полученные софтом, обр.17

λ_i	495	494	493	492	491	490	489	488	487	486	485
Q_i	1	7	31	63	0	156	143	4	17	50	130

λ_i	484	483	482	481	480	479	478	477	476	475
Q_i	81	41	186	224	287	10	272	3	299	345

λ_i	474	473	472	471	470	469	468	467	466	465
Q_i	107	104	7	1	31	0	999	16	83	16

Образец № 1, далее обр.1, сплав Х30Н60М9.



Рисунок 2А. Исходное цветное изображение фрагмента поверхности обр.1

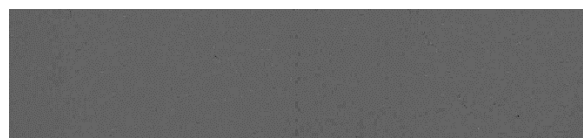


Рисунок 2Б. Серое изображение фрагмента поверхности обр.1

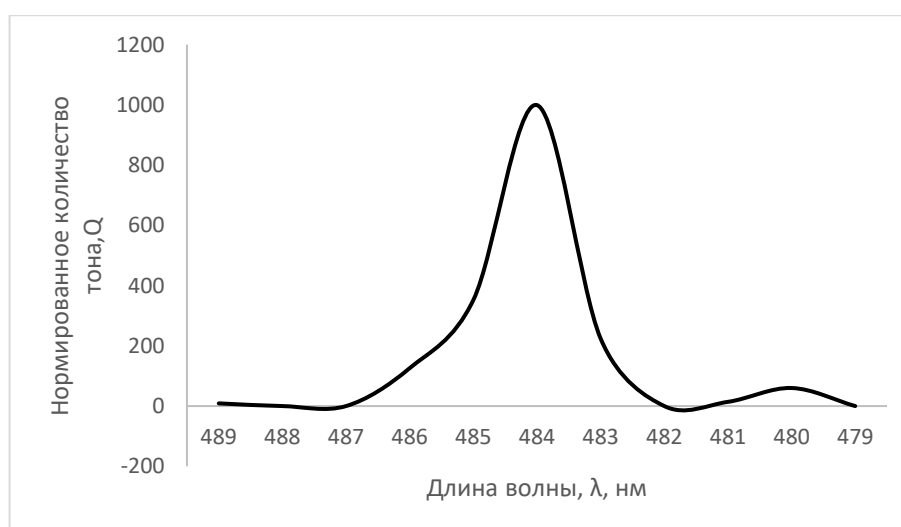


Рисунок 2В. Участие тоновых составляющих в цветовой группе обр.1, график

Таблица. 2. Тоновые составляющие, полученные софтом, обр.1

λ_i	489	488	487	486	485	484	483	482	481	480	479
Q_i	9	0	0	126	352	999	224	0	14	60	0

Расчетное количество тона на пиксел:

- $Q_{clp 1} = S_{\text{тон}}/S_{\text{изобр.}} = 1779,5/(3300 \times 625) = 0,000863$, в цветовой группе синего цвета.

Образец №16, далее обр.16, сплав G-35.



Рисунок 3А. Исходное цветное изображение фрагмента поверхности обр.16

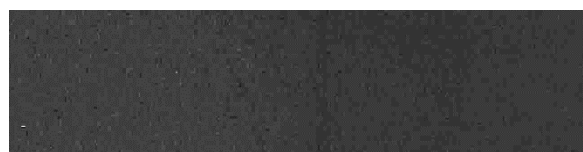


Рисунок 3Б. Серое изображение фрагмента поверхности обр.16

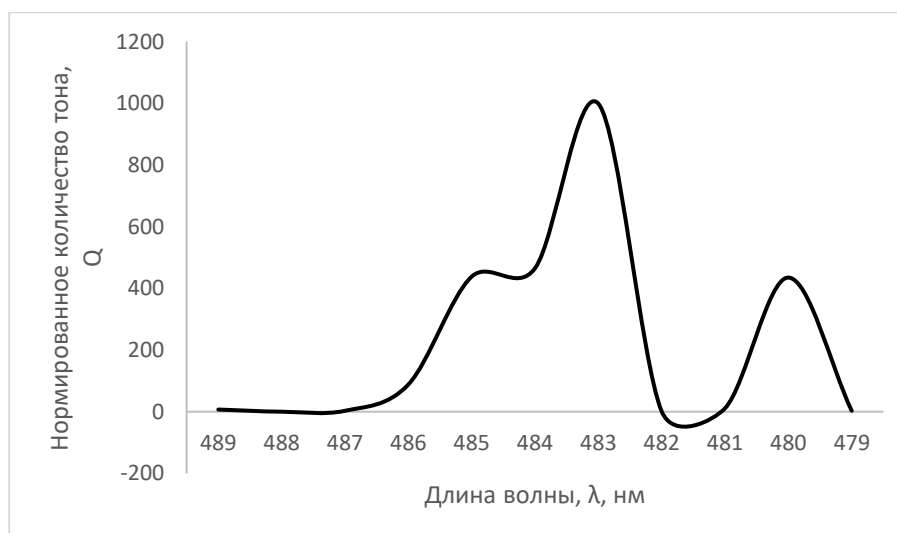


Рисунок 3В. Участие тоновых составляющих в цветовой группе обр.16, график

Таблица 3. Тоновые составляющие, полученные софтом, обр. 16

λ_i	489	488	487	486	485	484	483	482	481	480	479
Q_i	7	0	3	88	438	465	999	1	11	435	3

Расчетное количество тона на пиксел:

- $Q_{clp 16} = S_{\text{тон}}/S_{\text{изобр.}} = 2445/(3300 \times 625) = 0,001185$, в цветовой группе синего цвета.

Образец №12, далее обр.12, сплав G-35.



Рисунок 4А. Исходное цветное изображение фрагмента поверхности обр. 12

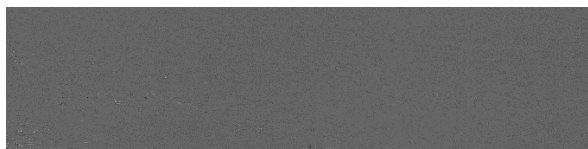


Рисунок 4Б. Серое изображение фрагмента поверхности обр. 12



Рисунок 4В. Участие тоновых составляющих в цветовой группе обр. 12, график

Таблица 4. Тоновые составляющие, полученные софтом, обр.12

λ_i	493	492	491	490	489	488	487	486	485	484	483
Q_i	12	38	14	124	122	181	349	326	675	999	548

λ_i	482	481	480	479	478	477	476	475	474
Q_i	365	284	204	140	101	63	40	19	13

Расчетное количество тона на пиксел:

- $Q_{clp\ 12} = S_{\text{тон}}/S_{\text{изобр.}} = 4604,5/(3300 \times 625) = 0,002232$, в цветовой группе синего цвета.

Авторским коллективом метод [1] предлагается как более удобный качественный метод оценки в сравнении со стандартной методикой. Метод играет существенную роль в оценке скорости коррозии, а значит в корректировке режимов термической обработки [2] для поиска оптимальной необходимой структуры твердого раствора материала сплава, таким образом, оценивая его структурное состояние до воздействия реакционной среды. Этот метод более информативен, менее затратен для получения необходимого технологического результата.

По причине новизны идеи оценки параметров коррозии с помощью количества отраженного тона, данных по корреляционному анализу этих переменных (тон – независимая, скорость коррозии – зависимая переменная) ни в отечественных, ни в зарубежных источниках найдено не было.

Исследуемые материалы и методы исследования

В настоящей работе исследовались образцы коррозионностойких металлических материалов – никелевых композиций, сплавов Х30Н60М9 [3], Hastelloy G-35, структуры обоих зафиксированы в однофазном состоянии закалкой, закалочные мероприятия проведены при температурах 1107°C и 1121°C, соответственно, охлаждением в воду, $T_{\text{воды}} = 23^\circ\text{C}$. Данные о химическом составе образцов исследованных сплавов приведены в таблице 5.

В настоящее время оптическая спектроскопия стала важным источником информации о структурном и энергетическом состоянии поверхности исследуемых материалов.

Таблица 5. Химические составы сплавов X30H60M9 и G-35

Сплав	Элементный состав, мас. %											
	Ni	Cr	Mo	Al	Fe	Mn	C	La	B	Si	S	P
№ 1	Осн.	29,6	8,75	0,21	0,01	0,003	0,006	0,002	0,00	0,018	0,0025	0,0074
№2	Осн.	33,28	8,13	0,14	0,64	0,21	0,006	0,00	0,002	0,04	0,002	0,002

Примечание: сплав № 1 – сплав X30H60M9, шифр «Раствор-Н» (изготовитель: ФГУП «ВИАМ», Москва, Россия); сплав № 2 – сплав Hastelloy G-35 (изготовитель: HAYNES, США).

Авторским коллективом было высказано мнение, что характеристикой структурного состояния, в части коррозионной стойкости, может являться чистый цвет образца, как характеристика распределения ионного заряда по его поверхности.

Известно, что для оценки состояния химической связи используются электроотрицательность (ЭО), как мера отрицательности материала, характеризующая способность валентных электронов, создавать локальные зоны с повышенными концентрациями заряда (теория коллективизированных электронов). Необходимо отметить, что электроотрицательность в сочетании с другими факторами позволяет установить конкретные значения большинства физических и физико-химических свойств для металлических материалов сплавов [4].

Ранее, Бацановым С. С. [5] было подтверждено, что насыщенность электронного газа аналогична ионности связи, которая в свою очередь определяется энергией связи. Характеристикой этого является ионизационный потенциал. Следовательно, установив различие молярной ЭО сравниваемых сплавов, сможем подтвердить различие электрохимического характера элементов: насыщенности электронного газа, соответственно, электронных плотностей атомов, ионизационного потенциала, что определит различие в коррозионной стойкости сплавов.

В термодинамике растворов изменение энергии Гиббса называется энергией смешения. На основании этого можем заключить, что химические потенциалы компонентов твердого раствора характеризует состояние энергии Гиббса. Для энергии Гиббса (G) одного моля твердого раствора можно записать:

$$G = X(1)\mu(1) + X(2)\mu(2) + \dots + X(i)\mu(i), \quad (2)$$

где $X(1)$, $X(2)$, $X(i)$ – молярные доли компонентов раствора; $\mu(1)$, $\mu(2)$, $\mu(i)$ – их химические потенциалы.

Известно, что в проекции свободной энергии Гиббса химический (μ) и электрический (φ) потенциалы взаимозаменяемы. Введение же электрического потенциала полезно при анализе процессов переноса заряда в растворах. Это

возможный способ использования электрического потенциала в электрохимической термодинамике.

Подтверждая вышеизложенное, отметим, что показатели электроотрицательностей необходимо рассматривать как показатели электрических потенциалов зарядов, соответственно, суммарный потенциал электрического поля системы зарядов будет равен скалярной сумме потенциалов электрических полей каждого из зарядов в отдельности (принцип суперпозиции), здесь потенциал электрического поля как характеристика энергосостояния.

$$\varphi(\sum) = \varphi(1) + \varphi(2) + \varphi(3) + \dots + \varphi(i), \quad (3)$$

На основании этого молярная ЭО сплава была установлена суммой произведений молярных долей и ЭО компонент.

Для электроотрицательности одного моля (χ_m), твердого раствора запишем:

$$\chi_m = X(1)\chi(1) + X(2)\chi(2) + \dots + X(i)\chi(i), \quad (4)$$

где $X(1)$, $X(2)$, $X(i)$ – молярные доли компонентов раствора; $\chi(1)$, $\chi(2)$, $\chi(i)$ – электроотрицательности.

Для молей вещества сплавов X30H60M9 и G-35, были выполнены следующие расчеты (таблицы 6, 7).

Таблица 6. Вычисление молярных масс сплавов X30H60M9, G-35

X30H60M9	Молярная доля элемента	Атомная масса, m_a , г/моль	Молярная масса элемента, M_i , г/моль
Ni	0,638	58,693	37,446
Cr	0,293	51,996	15,235
Mo	0,069	95,95	6,621
	1		$\sum 59,302$
G-35			
Ni	0,592	58,6934	34,7465
Cr	0,348	51,9961	18,095
Mo	0,06	95,95	5,757
	1		$\sum 58,598$

Примечание: Доля молярной единицы определена из пересчета атомных процентов, их долей от единицы (таблица 5)

Таблица 7. Вычисление ЭО молей сплавов Раствор-Н, G-35

X30H60M9	Молярная доля эл-та	χ	ЭО m_i	V_m , см ³	ЭО m/V_m , моль ⁻¹
Ni	0,638	1,8	1,148		
Cr	0,293	2,2	0,645		
Mo	0,069	2,1	0,145		
			$\Sigma 1,938$	7,206	0,267 $\approx$ 0,27
G-35					
Ni	0,592	1,8	1,066		
Cr	0,348	2,2	0,766		
Mo	0,06	2,1	0,126		
			$\Sigma 1,957$	7,146	0,274 $\approx$ 0,27

Примечание:

- Электроотрицательность участников химических композиций для сплавов X30H60M9 и G-35, по Томасу-Горди [6].
- Плотности сплавов измерены экспериментально: для X30H60M9, $\rho(1) = 8300$ кг/м³ (8,3 г/см³), для G-35(2), $\rho(2) = 8200$ кг/м³ (8,2 г/см³).
- молярный объем (V_m) определен по формуле: $V_m = \Sigma M_i / \rho$, где ρ – плотность сплава, соответственно, для сплава X30H60M9, индекс - (1); $V_m(1) = 7,20556$ см³, для сплава G-35, - индекс (2); $V_m(2) = 7,14611$ см³
- Показатель ЭО для моля сплава X30H60M9 запишем выражением: $\phi(1) = \text{ЭО}(1)/V_m(1) = 0,271$ см³/моль⁻¹, для G-35(2), $\phi(2) = \text{ЭО}(2)/V_m(2) = 0,274$ см³/моль⁻¹.

Очевидно, что для значений ЭО молей сравниваемых сплавов справедливо выражение:

$$\phi(1) \leq \phi(2), \quad (5)$$

Таким образом, используя выражение (5), отметим, что большей ЭО для сравниваемых структур сплавов X30H60M9 и G-35 обладает сплав G-35, что подтверждает различие в ионизационном потенциале, соответственно, коррозионной стойкости.

В качестве примера реализации предлагаемой оценки коррозионной стойкости металлических материалов рассмотрим вариант с никелевыми сплавами системы Ni-Cr-Mo, X30H60M9 и Hastelloy G-35, химический состав которых приведен в таблице 1, находящимися в структурных состояниях твердого раствора.

В настоящее время материал сплава Hastelloy G-35(HAYNES), далее Hastelloy G-35 предлагается в качестве конструкционного, коррозионностойкого к окислительным средам в условиях повышенных температур, до 700°C. Разработанный сплав X30H60M9 сейчас предлагается для отечественной металлургии к освоению как перспективный жаропрочный материал с улучшенными пластическими свойствами в сочетании с превосходными коррозионными

свойствами, конкурентноспособный импортному сплаву Hastelloy G-35 по качественным и стоимостным характеристикам.

В настоящее время оценку коррозионных свойств материалов данного класса, стойких к окислительным средам, производят согласно ASTM G-28 «А» [7], как стандартной методики. Испытания производят в кипящем (выдержка 120 часов) испытательном растворе – 50% H_2SO_4 , серной кислоты с добавлением сульфата железа (III), как пассиватора для границ. Показатель скорости коррозии рассчитывается посредством убыли массы в процессе испытания.

Обсуждение результатов

Были подготовлены 4 плоских образца материала сплава X30H60M9 и 4 плоских образца сплава Hastelloy G-35. Образцы были термически обработаны по различным режимам на температурах фазового перехода для структуры твердого раствора, в интервалах 1107 – 1135 °С, некоторые были после спровоцированы (имитация сварки) на режиме нагрева 800°С, в течение 30 мин. В соответствии с ГОСТ 6038-2017 размеры образцов составили 80x20x5мм, чистота поверхности составила не менее 0,8 мкм. Далее образцы были одномоментно все 8 образцов были отсканированы, соответственно, в одинаковых условиях. Это подтверждает объективность исходных данных. По факту изображения были переведены в цифровой графический формат. После образцы были исследованы по стандартной методике согласно ASTM G-28 метод «А» [7], кипячение в испытательном растворе (50% $H_2SO_4 + Fe_2(SO_4)_3$) течении 120 часов, исполнитель УрФУ, г. Екатеринбург (4шт.), HAYNES (USA) (3 шт.), АО «НИИК», г. Дзержинск (1 шт.).

Скорости коррозии, определенные опытным путем, согласно предоставленных исполнителями отчетов, имели следующие показатели (таблица 8):

Таблица 8. Экспериментальные данные по скорости коррозии и расчетные данные по количеству тона

№ образца, сплав	Кол-во тона на пиксел, Q clr	Эк, мил/год	Эк, мм/год	Термическая обработка
1, X30H60M9	0,000863	4,72	0,12	Закалка + провокация
16. G-35	0,001185	4,33	0,11	Закалка + провокация
15. X30H60M9	0,001459	3,7	0,094	Закалка
14. G-35	0,001686	3,94	0,1	Закалка
17. X30H60M9	0,001797	3,5	0,089	Закалка
4. X30H60M9	0,001993	3,54	0,09	Закалка
11, G-35	0,002273	3,43	0,087	Закалка + провокация
12, G-35	0,002232	3,39	0,086	Закалка

Примечание: 1 мил = 0,001 дюйма

Проведенный анализ корреляции опытных данных по скорости коррозии и расчетных данных по тону (таблица 8), установил, коэффициент корреляции – $r = -0,93$, соответственно, знак и значение коэффициента подтверждает наличие высокой отрицательной связи.

В таблице 7 приведены расчетные данные, полученные с помощью разработанного софта, как плотности тона на пиксел изображения, для всех 8 образцов. Тоновые составляющие были пересчитаны в цветовой группе синего цвета.

Используя расчетные и экспериментальные данные, приведенные в таблице 8, была установлена зависимость между количеством отраженного тона и скоростью коррозии, представленная на рисунке 5.

Таким образом, установлена и подтверждена экспоненциальная зависимость коррозионной стойкости и тона структур твердого раствора никелевых сплавов с ГЦК решеткой: X30H60M9, Hastelloy G-35.

Согласно данным на рисунке 5,

$$v_k \sim e^{(-Q_{clp})} \quad (6)$$

где v_k – скорость коррозии, Q_{clp} – плотность тона в цветовой группе.

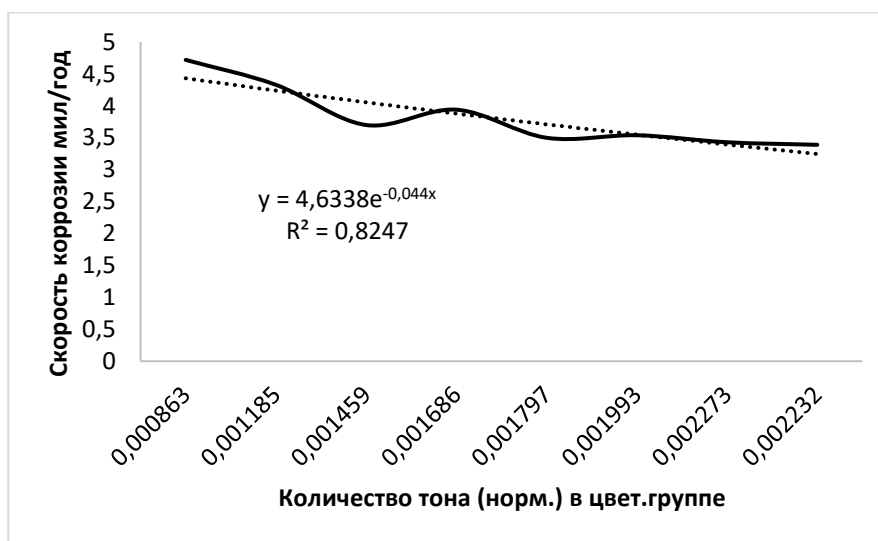


Рисунок 5. Связь количества тона и скорости коррозии для 8 образцов, в цветовой (синей) группе

Выводы

Проведенный в настоящей работе корреляционный анализ установленного количества тона в цветовой группе отраженного видимого света и коррозионной стойкости сплавов системы Ni-Cr-Mo на примере высоконикелевых сплавов X30H60M9 и Hastelloy G-35 (имеющих структуру твердого раствора с ГЦК решеткой) позволил заключить о высокой отрицательной связи этих параметров, с

коэффициентом корреляции $r = -0,93$. Была подтверждена ранее предложенная экспоненциальная зависимость: меньшая плотность отраженного тона в цветовой группе подтверждает бóльшую скорость коррозионного разрушения материала в идентичных условиях, что подтверждает перспективу оценки коррозионной стойкости однофазных сплавов системы Ni-Cr-Mo с ГЦК решеткой отраженным количеством цвета.

Список литературы

1. Михайлов Д. Л., Ермишкин В. А., Минина Н. А., Кулагин С. П. Экспресс-анализ коррозионной стойкости сплавов системы Ni-Cr-Mo (Ni-Cr, Ni-Mo) согласно установленного количества тона в спектральной группе отраженного света // Вестник НовГУ. 2023. 3(132). 470-480. DOI: 10.34680/2076-8052.2023.3(132).470-480
2. Ермишкин В. А., Михайлов Д. Л., Кулагин С. П., Минина Н. А. Влияние термообработки на структуру и свойства хромо-никелевого сплава G-35 // Четвертый Междисциплинарный научный форум с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии», Москва, 27-30 ноября 2018 г.: сборник материалов: в 3-х т. Т. 1. Москва, 2018. С. 648-653.
3. Михайлов Д. Л. Патент № 2613805 Российской Федерации, МПК C22C 19/05 (2006.01), C22C 30/00 (2006.1). Коррозионно-стойкий сплав на основе никеле: № 2016105314, заявл. 02.17.2016: опубл. 03.21.2017.
4. Резниченко Л. А., Данцигер А. Я., Разумовская О. Н., Дудкин С. И., Шилкна Л. А., Позднякова И. В., Сервули В. А. Зависимость степени сегнетожесткости твердых растворов на основе ниобатов натрия-лития от степени ковалентности А-О-связи // Журнал технической физики. 2000. 70(11). 63-66.
5. Бацанов С. С. Электроотрицательность элементов и химическая связь. Новосибирск: Изд. СО АН СССР, 1962. 196 с.
6. Григорович В. К. Периодический закон Менделеева и электронное строение металлов. Москва: Наука, 1966. 287 с.
7. ASTM G28–02. Standard Test Methods for Detecting Susceptibility to Intergranular Corrosion in Wrought, Nickel-Rich, Chromium-Bearing Alloy. 2002. DOI: 10.1520/G0028-02

References

1. Mikhailov D. L., Ermishkin V. A., Minina N. A., Kulagin S. P. Express analysis of the corrosion resistance of alloys of the Ni-Cr-Mo system (Ni-Cr, Ni-Mo) according to the set amount of tone in the reflected-light spectral group // Vestnik NovSU. 2023. 3(132). 470-480. DOI: 10.34680/2076-8052.2023.3(132).470-480
2. Ermishkin V. A., Mikhailov D. L., Kulagin S. P., Minina N. A. Vliyaniye termoobrabotki na strukturu i svoystva khromo-nikelevogo splava G-35 [Effect of heat treatment on the structure and properties of the chromium-nickel alloy G-35] // Fourth Interdisciplinary Scientific Forum with International Participation "New Materials and promising technologies", Moscow, November 27-30, 2018: collection of materials: in 3 volumes. Vol. 1. Moscow, 2018. P. 648-653.
3. Mikhailov D. L. Patent No. 2613805 of the Russian Federation, IPC C22C 19/05 (2006.01), C22C 30/00 (2006.1). Korroziionno-stoykiy splav na osnove nikele [Corrosion-resistant nickel-based alloy]: No. 2016105314, appl. 17.02.2016: publ. 21.03.2017.

4. Reznichenko L. A., Danziger A. Ya., Razumovskaya O. N., Dudkin S. I., Shilkna L. A., Pozdnyakova I. V., Servuli V. A. Zavisimost' stepeni segnetozhestkosti tverdykh rastvorov na osnove niobatov natriya-litiya ot stepeni kovalentnosti A-O-svyazi [Dependence of the degree of ferroelectric hardness of solid solutions based on sodium–lithium niobates on the degree of covalency of the A–O bond] // Technical Physics. 2000. 70(11). 63-66.
5. Batsanov S. S. Elektrootritsatel'nost' elementov i khimicheskaya svyaz' [Electronegativity of elements and chemical bonding]. Novosibirsk: Publishing house Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences USSR, 1962. 196 p.
6. Grigorovich V. K. Periodicheskiy zakon Mendeleyeva i elektronnoye stroyeniye metallov [Mendeleev's periodic law and the electronic structure of metals]. Moscow: Nauka, 1966. 287 p.
7. ASTM G28–02. Standard Test Methods for Detecting Susceptibility to Intergranular Corrosion in Wrought, Nickel-Rich, Chromium-Bearing Alloy. 2002. DOI: 10.1520/G0028-02

Информация об авторах

Михайлов Дмитрий Леонидович – соискатель, Институт металлургии и материаловедения имени А. А. Байкова РАН (Москва, Россия); директор, ООО «Промдеталь» (Великий Новгород, Россия), ORCID: 0009-0000-1609-840X, ooopromkey@gmail.com

Ермишкин Вячеслав Александрович – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт металлургии и материаловедения имени А. А. Байкова РАН (Москва, Россия), ORCID: 0000-0001-9093-8294, vermishkin@imet.ac.ru

Минина Наталья Анатольевна – старший научный сотрудник, Институт металлургии и материаловедения имени А. А. Байкова РАН (Москва, Россия), ORCID: 0000-0002-3782-3858, minina@imet.ac.ru, minina1951@rambler.ru