

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СТОЙКОСТЬ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ НИОБИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

© 2021 Хаймович И.Н.<sup>1,2</sup>, Маслов А.Е.<sup>2</sup>, Белов Д.А.<sup>2</sup>

<sup>2 1</sup>Самарский университет государственного управления  
«Международный институт рынка», г. Самара, Россия  
<sup>2</sup>Самарский университет, г. Самара, Россия

В статье рассматривается расчёт содержания различных химических элементов на стойкость сплава на основе ниобия против окисления при высокой температуре.

Ключевые слова: жаропрочность, сплав, влияние, химический состав, информационные технологии.

Жаропрочность - способность сталей и сплавов выдерживать механические нагрузки при высоких температурах в течение определенного времени [4, 6, 7].

Одним из факторов, определяющих жаропрочность является высокое сопротивление ползучести. Жаропрочность сплавов оценивается пределами длительной прочности или ползучести при высоких температурах и связана в первую очередь, с их структурой и составом [2]. По структуре жаропрочные сплавы должны быть многофазными с прочными границами зёрен и фаз. При этом жаропрочность сплавов тем выше, чем больше объёмная доля упрочняющих фаз и чем выше их термическая стабильность, то есть устойчивость против растворения и коагуляции при повышении температуры.

Используются жаропрочные сплавы на основе ниобия в качестве конструкционного материала для деталей реактивных двигателей и ракет (изготовление турбинных лопаток, передних кромок крыльев, носовых концов самолётов и

ракет, обшивки ракет) [9].

Ниобий и сплавы на его основе можно использовать при рабочих температурах 1000 - 1200° С [1].

Сплавы, обладающие большой жаропрочностью, очень востребованы в энергетическом машиностроении. Причем потребность в подобных материалах постоянно растёт. Более того, производство требует от ученых получения все более и более совершенных материалов, способных сохранять свою работоспособность при очень высоких температурах, поэтому постоянно ведутся работы по увеличению показателей жаропрочности.

Для выявления новых жаропрочных сплавов на основе ниобия меняли содержание в сплавах других элементов. В зависимости от состава сплавов изучали их привес за 100 ч испытаний в воздушной среде при температуре 1000°С.

Начальные данные можно увидеть в таблице 1.

Таблица 1 - Начальные данные

Факторы	Ti.%	W.%	Al.%	Cr.%	Mn.%	V.%	Zr.%	Пример при 1000° за 100 ч, мг/см2
Основной уровень (X <sub>0</sub> )	40	10	5	4	0,5	2	0,5	Y <sub>0</sub> = 77
Интервал варьирования (ΔXi)	5	5	1	1	0,5	2	0,5	
Верхний уровень (x <sub>i</sub> = +1)	45	15	6	5	1	4	1	
Нижний уровень (x <sub>i</sub> = -1)	35	5	4	3	0	0	0	
№ опыта	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>	Y
1	1	1	1	1	1	1	1	30
2	-1	1	1	-1	-1	1	-1	45
3	1	-1	1	-1	1	-1	-1	60
4	-1	-1	1	1	-1	-1	1	85
5	1	1	-1	1	-1	-1	-1	70
6	-1	1	-1	-1	1	-1	1	95
7	1	-1	-1	-1	-1	1	1	120
8	-1	-1	-1	1	1	1	-1	90

С учётом погрешности был проведён расчёт действительных уровней факторов (табл. 2).

Затем был выполнен расчёт ошибки попадания на заданный уровень ( $\epsilon_{iu}$ ) по формуле:

$$\epsilon_{iu} = \bar{X}_{iu} - x_{iu}, \quad (1)$$

где  $\bar{X}_{iu}$  – полученный уровень фактора;  $x_{iu}$

– заданный уровень фактора.

Поскольку сдвигом уровней систематическая ошибка исключена, среднее значение отклонения действительных уровней фактора от заданных становится равно нулю [8].

Таблица 2 – Действительные уровни факторов

Основной уровень (X <sub>0</sub> )	39,49	9,1	4,8	3,5	0,6	1,8	0,46
Интервал варьирования (ΔXi)	6,74	5,10	1,93	1,28	0,60	1,80	0,46
Верхний уровень (x <sub>i</sub> = +1)	46,23	14,2	6,73	4,78	1,2	3,6	0,92
Нижний уровень (x <sub>i</sub> = -1)	32,75	4	2,87	2,22	0	0	0

Были посчитаны коэффициенты без корректировки ( $b_i$ ) (рис. 1) по формуле:

$$b_i = \frac{\sum x_{iu} y_u}{N}, \quad (2)$$

где  $y_u$  - значение привеса при 1000° за 100ч; N – количество опытов.

За счёт действительных уровней факторов смогли посчитать коэффициенты с корректировкой ( $\bar{b}_i$ ) (рис. 1) по формуле:

$$\bar{b}_i = \frac{\sum \bar{X}_{iu} y_u}{N + \sum \epsilon_{iu}^2}. \quad (3)$$

Модель (y) зависимости жаропрочности имеет вид:  $y = 74,375 - 6,325\bar{x}_1 - 11,980\bar{x}_2 - 19,531\bar{x}_3 - 7,986\bar{x}_4 - 4,676\bar{x}_5 - 4,801\bar{x}_6 + 7,858\bar{x}_7$ , (4)

где  $\bar{x}_1$  – код фактора Ti;  $\bar{x}_2$  - код фактора W;  $\bar{x}_3$  - код фактора Al;  $\bar{x}_4$  - код фактора Cr;  $\bar{x}_5$  - код фактора Mn;  $\bar{x}_6$  - код фактора V;  $\bar{x}_7$  - код фактора Zr.

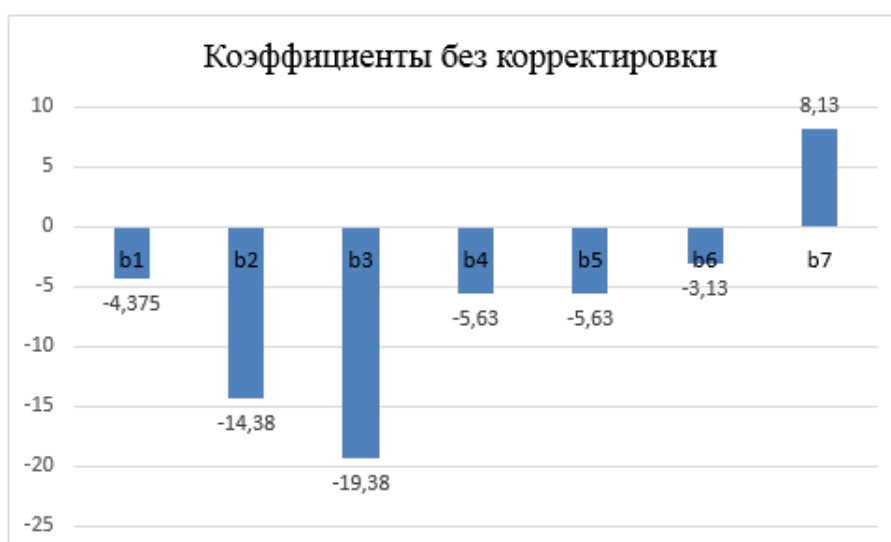


Рисунок 1 – Коэффициенты без корректировки

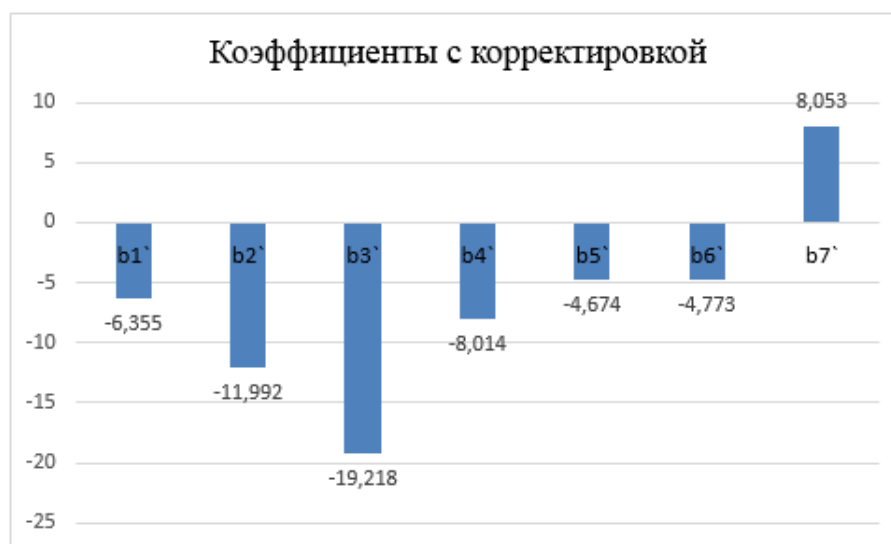


Рисунок 1 – Коэффициенты с корректировкой

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции между ошибками  $\varepsilon_i$  в уровнях факторов

	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$	$\varepsilon_3$	$\varepsilon_4$	$\varepsilon_5$	$\varepsilon_6$	$\varepsilon_7$
$\varepsilon_1$	1	0,02	0,12	0,01	0,33	0,39	0,51
$\varepsilon_2$		1	0,15	0,02	0,49	0,27	0,26
$\varepsilon_3$			1	-0,12	0,09	0,09	0,21
$\varepsilon_4$				1	0,29	0,26	0,45
$\varepsilon_5$					1	0,1	0,02
$\varepsilon_6$						1	0,43
$\varepsilon_7$							1

Таблица 4 – Коэффициенты корреляции между ошибками и заданными уровнями факторов

	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$
$\varepsilon_i$	0,44	0,36	0,63	0,10	0,12	0,12	0,49

Вывод: после изучения влияния химического состава на стойкость против высоко-температурного окисления сплавов на основе ниобия получили, что все добавки, кроме Zr (циркония), в изученных пределах повышают жаростойкость ниобия, причём наиболее сильно Al (алюминий) и W (ванадий). Приведены коэффициенты корреляции между ошибками в таблице 3, а коэффициенты корреляции между ошибками и заданными уровнями факторов - в таблице 4. Статистическую значимость отличия рассчитанных коэффициентов от нуля проверяли по t-

критерию. В данном случае при  $\alpha = 0,05$  и числе степеней свободы  $f = N - 2 = 6$  критическое значение коэффициента корреляции  $r_{кр} = 0,707$ . Все коэффициенты по абсолютной величине меньше  $r_{кр}$ , статистически значимо от нуля не отличаются. Поскольку все коэффициенты корреляции, указанные в таблицах 3 и 4, по абсолютной величине меньше  $0,707$ , можно считать, что ошибки  $\varepsilon_i$  не коррелируют ни между собой, ни с заданными уровнями факторов, итоговая модель [4] является адекватной.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Зеликман А.Н., Коршунов Б.Г., Елютин А.В. Ниобий и тантал. – М.: Металлургия, 1990. – 34 с.
2. Кишкин С.Т. Литейные жаропрочные сплавы. – М.: Наука, 2006. – 80 с.
3. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 2004. – 832 с.
4. Материалы в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1998. – Т. 3. – 446 с.
5. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. – М.: Машиностроение, 2008. – 304 с.
6. Сидоров В.В., Каблов Д.Е., Ригин В.Е. Металлургия литейных жаропрочных сплавов. Технология и оборудование. – М.: ВИАМ, 2016. – 238 с.
7. Симс Ч.Т., Столофф Н.С., Хагель У.К. Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок. – М.: Металлургия, 1995. – 384 с.
8. Хаймович И.Н., Демьяненко Е.Г. Математическое моделирование материалов и процессов. – Самара: Изд-во СГАУ, 2015. – 82 с.
9. Хаймович И.Н. Автоматизация проектирования объектов заготовительно-штамповочного производства компрессорных лопаток авиационных двигателей // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. - 2014. - № 2. - С. 44-48.

### STUDY OF THE INFLUENCE OF CHEMICAL COMPOSITION ON RESISTANCE AGAINST HIGH-TEMPERATURE OXIDATION OF NIOBIUM-BASED ALLOYS USING INFORMATION TECHNOLOGIES

© 2021 Irina N. Khaimovich<sup>1,2</sup>, Alexander E. Maslov<sup>2</sup>, Danila A. Belov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Samara University of Public Administration  
“International Market Institute”, Samara, Russia

<sup>2</sup>Samara University, Samara, Russia

The article discusses the calculation of the content of various chemical elements for the resistance of an alloy based on niobium against oxidation at high temperatures.

Keywords: heat resistance, alloy, influence, chemical composition, information technology.