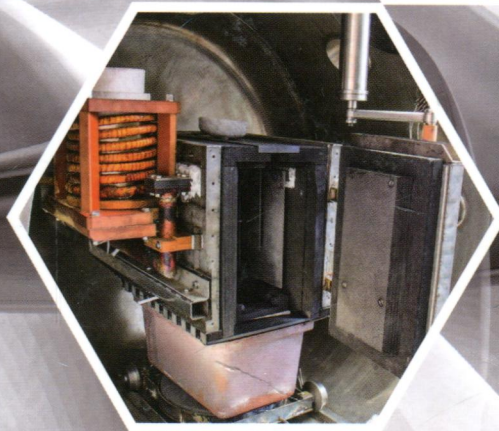


В.В. СИДОРОВ, Д.Е. КАБЛОВ, В.Е. РИГИН



**МЕТАЛЛУРГИЯ ЛИТЕЙНЫХ
ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ:
ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ**

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.В. Сидоров, Д.Е. Каблов, В.Е. Ригин

**МЕТАЛЛУРГИЯ ЛИТЕЙНЫХ
ЖАРОПРОЧНЫХ СПЛАВОВ:
ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ**

Под общей редакцией
академика РАН, профессора Е.Н. Каблова

МОСКВА
ВИАМ
2016

УДК 669.018

ББК 34.31

С34

Рецензенты: главный научный сотрудник ФГУП «ВИАМ», доктор технических наук *Б. С. Ломберг*, ведущий научный сотрудник ФГБУН ИМЕТ РАН им. А. А. Байкова, профессор, доктор технических наук *В. Т. Бурцев*

Сидоров В.В., Каблов Д.Е., Ригин В.Е.

С34 **Металлургия литейных жаропрочных сплавов: технология и оборудование /** под общ. ред. Е. Н. Каблова. – М.: ВИАМ, 2016. – 368 с. : ил.

ISBN 978-5-905217-11-1

В книге рассмотрены основные вопросы металлургии и металловедения современных жаропрочных сплавов. Представлены результаты исследований по разработке литейных никелевых жаропрочных сплавов, обладающих уникальным сочетанием свойств, в том числе супержаропрочных сплавов последнего поколения с монокристаллической структурой, легированных рением и рутением, для производства наиболее ответственных и высоконагруженных деталей газотурбинного двигателя – литых лопаток.

Излагаются основы физико-химических процессов активного рафинирования никелевого расплава с целью наиболее полного удаления из него вредных примесей и газов. Приводятся новые результаты работ по получению в готовом металле ультранизкого содержания примесных элементов по разработанным авторами специальным технологическим процессам.

Основное внимание в монографии уделено способам удаления вредных примесей из металла при плавке в вакууме, а также нейтрализации их вредного влияния путем введения в сплавы РЗМ.

Приведены результаты исследований по использованию в процессе плавки до 100% отходов литейного производства, в том числе некондиционных, образующихся на моторостроительных заводах.

Рассмотрены также вопросы применения современного вакуумного плавильного оборудования для получения высококачественных литых прутковых заготовок и основные положения современной технологии получения литейных жаропрочных сплавов.

Издание предназначено для научных и инженерно-технических работников (металлургов, металловедов, техников), работающих в области авиационного машиностроения.

УДК 669.018

ББК 34.31

ISBN 978-5-905217-11-1

© ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Вступительное слово	5
Предисловие	7
Введение	10
Глава 1. Примеси в литейных жаропрочных сплавах, их влияние на структуру и свойства. Рафинирование никелевого расплава от примесей в условиях вакуумной индукционной плавки	28
1.1. Сера	51
1.2. Кремний	69
1.3. Фосфор	88
1.4. Азот	109
1.5. Исследование распределения примесей в монокристаллах жаропрочных никелевых сплавов	130
Глава 2. Технологические процессы рафинирования сложнолегированных никелевых расплавов	132
2.1. Термовременное рафинирование расплава	134
2.2. Рафинирование расплава щелочноземельными и редкоземельными металлами	136
2.3. Испарение примесей цветных металлов из никелевого расплава под вакуумом	147
2.4. Фильтрация никелевого расплава при разливке в вакууме	159
2.5. Рафинирование расплава от азота («углеродный кип»)	173
2.6. Обезуглероживание никелевого расплава	179
2.7. Рафинирование расплава от кислорода	196
2.8. Применение водорода для рафинирования расплава	202

Глава 3. Микролегирование сплавов редкоземельными металлами, их влияние на длительную прочность и жаростойкость	208
3.1. Создание наноструктурированного состояния в монокристаллах жаропрочных сплавов при микролегировании редкоземельными металлами	233
Глава 4. Исследование активности кислорода в расплавах никеля	252
Глава 5. Ресурсосберегающая технология выплавки сплавов с использованием 100% отходов	267
5.1. Обеспечение узкого интервала легирования сплавов путем корректировки химического состава в процессе плавки.	280
5.2. Применение лигатур при выплавке жаропрочных никелевых сплавов	284
Глава 6. Современное вакуумное плавильное оборудование для получения высококачественных литых прутковых заготовок из жаропрочных никелевых сплавов.	292
6.1. Требования к современным вакуумным индукционным печам.	299
6.2. Вакуумные индукционные печи фирмы ALD (Германия): конструктивные особенности, основные технические характеристики, опыт эксплуатации	303
6.2.1. Вакуумная индукционная печь VIM50-III-V5.	303
6.2.2. Вакуумная индукционная печь VIM150	313
6.2.3. Вакуумная индукционная печь VIM12-III-НМС.	326
6.3. Организация производства литых прутковых заготовок из современных литейных высокожаропрочных сплавов.	333
Литература.	340