

В. А. Голубцов

МОДИФИЦИРОВАНИЕ И МИКРОЛЕГИРОВАНИЕ СТАЛИ ДЛЯ ОТЛИВОК И СЛИТКОВ



В. А. Голубцов

**МОДИФИЦИРОВАНИЕ
И МИКРОЛЕГИРОВАНИЕ СТАЛИ
ДЛЯ ОТЛИВОК И СЛИТКОВ**

Монография

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2023

УДК 669.18
ББК 34.327
Г62

Рецензент:
доктор технических наук, профессор *В. В. Лунёв*

Голубцов, В. А.

Г62 Модифицирование и микролегирование стали для отливок и слитков : монография / **В. А. Голубцов.** – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 356 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-1217-9

Приведены теоретические сведения о процессах раскисления, модифицирования и микролегирования стали, о влиянии различных примесей, неизбежно находящихся в стали, на её качество. Освещены методы удаления и дезактивации вредных примесей металла. Обобщён опыт отечественных заводов по улучшению качества литых изделий из стали методами микролегирования и модифицирования. Приводятся примеры использования модификатора нового поколения.

Для научных и инженерно-технических работников, занимающихся вопросами сталелитейного производства. Может быть полезно студентам вузов металлургических специальностей.

УДК 669.18
ББК 34.327

ISBN 978-5-9729-1217-9

© Голубцов В. А., 2023
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2023
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие. Научные и технологические аспекты модифицирования стального литья	5
Глава 1. Влияние примесей на качество стали	12
1.1. Кислород и оксидные включения	12
1.2. Сера и сульфиды	13
1.3. Фосфор в стали.....	20
1.4. Азот и нитриды	24
1.5. О влиянии водорода на свойства металла	37
1.6. О влиянии примесей цветных металлов (Cu, Pb, Bi, Sn, Sb, As).....	43
1.7. Неметаллические включения: происхождение и влияние на качество металла	55
1.8. Физические, механические и физико-химические свойства неметаллических включений	61
1.8.1. Плотность, температура плавления и твёрдость	61
1.8.2. Модуль упругости Юнга и коэффициент Пуассона	62
1.8.3. Поверхностные свойства и смачиваемость.....	62
1.8.4. Термодинамика образования соединений.....	65
1.9. Поведение неметаллических включений при кристаллизации стали	67
1.10. О коэффициентах термического расширения неметаллических включений.....	72
Глава 2. Материалы для модифицирования и микролегирования стали	79
2.1. Алюминий.....	79
2.2. Кальций.....	82
2.3. Магний	89
2.4. Барий	92
2.5. Стронций.....	102
2.6. Редкоземельные металлы	112
2.7. Титан	127
2.8. Ванадий	129
2.9. Ниобий	131
2.10. Цирконий	133
2.11. Бор	137
Глава 3. О методах выпечной обработки металла. Научные основы применения модификаторов при производстве стали	143
3.1. Модифицирование, микролегирование и инокулирование.....	143
3.2. О способах производства модификаторов	154
3.3. Модификаторы и демодификаторы (теория И. В. Гаврилина)	158
3.4. Комплексное и комбинированное модифицирование	163
3.4.1. Механизм действия комплекса модификаторов I-го рода	163
3.4.2. Механизм действия комплекса модификаторов II-го рода	166
3.4.3. Механизм действия комплекса модификаторов I-го и II родов	169
3.4.4. Механизм действия комплекса модификаторов I-го рода и PЗМ	171
3.4.5. Механизм действия комплекса модификаторов II-го рода и PЗМ	173
3.4.6. Механизм действия комплекса модификаторов I-го и II родов и PЗМ	176

3.5. Бескремнистое раскисление.....	177
3.6. Модифицирование барий-стронциевым концентратом.....	185
Глава 4. Модифицирование стального литья различного назначения	189
4.1. Стали конструкционные нелегированные.....	189
4.2. Стали конструкционные низколегированные.....	192
4.2.1. Марганцовистые (12ХГФЛ, 20ГЛ, 08-20ГФЛ, 20ГСЛ, 35ГЛ, 40Г2Л и др.).....	193
4.2.2. Хромистые стали (40ХЛ, 40Х1Л)	199
4.3. Высокоуглеродистые марганцовистые стали	201
4.3.1. Общие положения	201
4.3.2. Технология плавки стали.....	203
4.3.3. Углерод и марганец	209
4.3.4. Кремний.....	210
4.3.5. Алюминий	211
4.3.6. Титан	214
4.3.7. Ванадий.....	216
4.3.8. Титан и ванадий.....	216
4.3.9. Кальций	217
4.3.10. Церий	219
4.3.11. О результатах комбинированного модифицирования металла	221
4.3.12. Охлаждение, выбивка, термообработка отливок	223
4.4. Высокопрочные и высоколегированные стали.....	225
4.4.1. Стали хромоникелевого сортамента.....	225
4.4.2. Теплоустойчивые жаропрочные стали и сплавы (15ХМЛ, 35ХМЛ, 12Х1МФЛ, 15Х1М1ФЛА, 5ХНМЛ, 35ХНЛ, 35ХНМЛ и др.)	227
4.5. Применение бора при производстве стального литья.....	234
Глава 5. Практика введения модификаторов	239
5.1. Содержание активных элементов в стали	239
5.2. Оптимизация составов модификаторов.....	246
5.3. Устройства и методы введения модификаторов в сталь	249
5.4. Технология введения модификаторов	260
Глава 6. О методах повышения качества отливок и слитков	268
6.1. Пути ликвидации дефектов слитков и отливок	268
6.1.1. Дефекты газоусадочного характера.....	268
6.1.2. Горячие и холодные трещины.....	274
6.1.3. Шлаковые включения и шлакогазовые раковины	286
6.1.4. Неспаи.....	287
6.1.5. Пригар.....	287
6.1.6. Окисные плёны	288
6.2. Вопросы повышения жидкотекучести расплава	289
6.3. О применении модифицирования при получении крупных слитков	291
6.3.1. Общетеоретические данные	292
6.3.2. Улучшение качества крупных слитков методами модифицирования	297
6.4. Рекомендации по модифицированию стали.....	303
Список литературы.....	310
Приложения.....	337