

В. И. ГОРЫНИН, М. И. ОЛЕНИН

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ХЛАДОСТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ



 «Инфра-Инженерия»

В. И. ГОРЫНИН, М. И. ОЛЕНИН

**ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ
ХЛАДОСТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ
И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

Монография

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2022

УДК 669.14:621.79

ББК 34.2

Г67

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор *Ю. Л. Легостаев*;

доктор технических наук, профессор *С. Ю. Кондратьев*

Горынин, В. И.

Г67 Пути повышения хладостойкости сталей и сварных соединений : монография / В. И. Горынин, М. И. Оленин. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 212 с. : ил., табл.
ISBN 978-5-9729-0951-3

Рассмотрены научно-методические подходы, обеспечивающие снижение склонности сталей перлитного и мартенситного класса и металла их сварных соединений к хладноломкости. Проанализирована роль карбидов, образующихся после термического улучшения и дополнительного отпуска, исследованы особенности их роста и коагуляции. Показано, что коагуляция и сфероидизация карбидов цементитного типа позволяет не только повысить хладостойкость сталей перлитного и мартенситного класса, включая металл их сварных соединений, но и устранить тепловую хрупкость сталей после длительной эксплуатации.

Для инженерно-технических и научных работников – металлургов, сварщиков, конструкторов, прочнистов и машиностроителей, занимающихся вопросами проектирования, обоснования выбора материала, изготовления и эксплуатации крупногабаритных и нагруженных изделий общего машиностроения. Может быть полезно для преподавателей, студентов и аспирантов металлургических и машиностроительных факультетов.

УДК 669.14:621.79

ББК 34.2

ISBN 978-5-9729-0951-3

© Горынин В. И., Оленин М. И., 2022

© Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО ХЛАДОСТОЙКОСТИ К МАТЕРИАЛАМ ТРАНСПОРТНОГО КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ	11
1.1. Обоснование технических требований к металлу корпуса транспортного контейнера.....	11
1.2. Обоснование технических требований к крепежным материалам	15
1.3. Хладостойкая коррозионно-стойкая сталь мартенситного класса 07X16H4Б для втулок и крепежа контейнеров, работающих при температуре минус 50 °С.....	16
1.4. Особенности поведения металла при низких температурах	17
1.4.1. Факторы хладостойкости сталей перлитного и мартенситного классов	18
1.4.2. Влияние структуры на хладостойкость стали	20
1.4.3. Причины снижения технологической и эксплуатационной прочности металла сварных конструкций северного исполнения ..	21
1.4.4. Влияние структурного фактора на хладостойкость металла сварных соединений	23
1.4.5. Особенности сварки кремнемарганцевых сталей.....	25
1.4.6. Кинетика образования карбидов цементитного типа.....	28
1.4.7. Принципы легирования высокопрочных мартенситно-старяющих сталей.....	30
1.4.8. Природа упрочнения и охрупчивания мартенситно-старяющих сталей.....	32
1.4.9. Природа образования и распада аустенита мартенситно-старяющих сталей.....	37
ГЛАВА 2. ПОВЫШЕНИЕ ХЛАДОСТОЙКОСТИ ФЕРРИТО-ПЕРЛИТНЫХ СТАЛЕЙ	40
2.1. Влияние температурно-временных параметров дополнительного отпуска на хладостойкость стали 09Г2СА-А.....	43
2.2. Рентгеноспектральный микроанализ карбидной фазы	44
2.3. Влияние дополнительного отпуска на ударную вязкость металла поковок и листового проката стали 09Г2СА-А	47

2.4. Исследование тонкой структуры	51
2.5. Влияние дополнительного отпуска и имитационного послесварочного отпуска на хладостойкость стали 09Г2СА-А	58
2.6. Исследование металла зоны термического влияния сварных соединений стали 09Г2СА-А	59
2.6.1. Микротвердость металла зоны термического влияния сварных соединений	61
2.6.2. Распределение температур в металле зоны термического влияния сварного соединения	61
2.6.3. Электросопротивление металла зоны термического влияния сварного соединения.....	62
2.6.4. Ударная вязкость металла зоны термического влияния сварных соединений	64
2.6.5. Разработка технологии послесварочного отпуска металла сварных соединений	65
2.6.6. Хладостойкость металла сварных соединений после отпуска по новой технологии с учетом способа сварки.....	71
2.7. Влияние дополнительного отпуска на хладостойкость металла сварных соединений стали 09Г2СА-А.....	73
2.7.1. Микротвердость металла зоны термического влияния сварных соединений после дополнительного отпуска	75
2.7.2. Выделение карбидной фазы металла ЗТВ сварного соединения при послесварочном отпуске, совмещенном с дополнительным отпуском	76

ГЛАВА 3. ПОВЫШЕНИЕ ХЛАДОСТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ ПЕРЛИТНОГО КЛАССА

ДЛЯ ОБОРУДОВАНИЯ АТОМНОЙ ТЕХНИКИ	83
3.1. Повышение сопротивляемости хрупкому разрушению крепежной низколегированной стали 25Х1МФ	83
3.2. Повышение сопротивляемости хрупкому разрушению высокопрочной среднелегированной стали 38ХНЗМФА.....	92
3.3. Повышение сопротивления хрупкому разрушению реакторной стали 15Х2МФА	94
3.4. Природа тепловой хрупкости конструкционных сталей и возможности ее снижения	103

ГЛАВА 4. ПОВЫШЕНИЕ ХЛАДОСТОЙКОСТИ КОРРОЗИОННО-СТОЙКИХ СТАЛЕЙ МАРТЕНСИТНОГО КЛАССА **110** |

4.1. Температурно-временные параметры – фактор хладостойкости коррозионно-стойкой стали 07X16H4Б	110
4.2. Влияние гомогенизации на сопротивление хрупкому разрушению коррозионно-стойкой высокохромистой стали 15X11МФБ	120
4.3. Повышение сопротивления хрупкому разрушению металла сварных соединений высокохромистой стали мартенситно-ферритного класса 15X11МФБ.....	126

ГЛАВА 5. ПОВЫШЕНИЕ СОПРОТИВЛЯЕМОСТИ ХРУПКОМУ РАЗРУШЕНИЮ СТАЛЕЙ ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

.....	135
5.1. Хладостойкие стали	136
5.2. Карбидная фаза хладостойких сталей	138
5.2.1. Материалы и методы исследований.....	139
5.2.2. Обсуждение результатов.....	141

ГЛАВА 6. ПРИРОДА УПРОЧНЕНИЯ И ОХРУПЧИВАНИЯ МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩИХ СТАЛЕЙ. СРАВНЕНИЕ КИНЕТИКИ СТАРЕНИЯ МАРТЕНСИТНО-СТАРЕЮЩИХ И ТЕРМОУЛУЧШАЕМЫХ СТАЛЕЙ

.....	147
6.1. Методы оценки структуры и физико-механических свойств мартенситно-стаеющих сталей	149
6.1.1. Материалы исследования	149
6.1.2. Механические свойства	149
6.1.3. Металлографический анализ.....	151
6.1.4. Электронно-микроскопический анализ	151
6.1.5. Фазовый физико-химический и рентгеноструктурный анализы ...	152
6.1.6. Рентгеноструктурный анализ.....	152
6.1.7. Дилатометрия	153
6.1.8. Электросопротивление	153
6.1.9. Магнитные свойства	153
6.1.10. Оценка овальности кольцевых образцов.....	154
6.1.11. Релаксация внутренних напряжений	154
6.2. Особенности структурных превращений мартенситно-стаеющих и термоулучшаемых сталей при старении.....	155
6.2.1. Упрочнение мартенситно-стаеющих сталей 01Н17К13М5ТЮ и 01Н18М3Т при термическом старении. Сравнение кинетики старения по твердости мартенситно-стаеющих и термоулучшаемых сталей	155

6.2.2. Влияние старения на временное сопротивление разрыву и предел текучести мартенситно-старееющих сталей.....	157
6.2.3. Пластичность и ударная вязкость мартенситно-старееющих сталей.....	157
6.2.4. Хладостойкость термоулучшаемых сталей при старении.....	163
6.3. Структурно-фазовые превращения мартенситно-старееющих сталей.....	164
6.4. Рентгеноструктурный анализ мартенситно-старееющих сталей.....	165
6.5. Металлография и электронная микроскопия мартенситно-старееющих сталей.....	167
6.6. Физико-химическое и рентгеноструктурное исследование фазового осадка мартенситно-старееющих сталей.....	171
6.7. Кинетика старения и изменение физических свойств мартенситно-старееющих и термоулучшаемых сталей.....	174
6.7.1. Изменение электросопротивления мартенситно-старееющих и термоулучшаемых сталей.....	174
6.7.2. Температурно-временные факторы отрицательной ползучести мартенситно-старееющих сталей.....	177
6.7.3. Влияние температуры и времени старения на плотность сталей 01Н17К13М5ТЮ и 01Н18М3Т.....	179
6.7.4. Влияние температуры и времени старения на магнитные свойства стали 01Н17К13М5ТЮ.....	180
6.8. Диаграмма структурно-фазовых превращений стали 01Н17К13М5ТЮ.....	181
6.9. Природа упрочнения и охрупчивания при старении мартенситно-старееющих и термоулучшаемых сталей.....	182
ГЛАВА 7. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ, МЕТОДОЛОГИЯ И АПРОБАЦИЯ ПОВЫШЕНИЯ ХЛАДОСТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	186
7.1. Теоретические и экспериментальные аспекты повышения хладостойкости сталей перлитного и мартенситного класса.....	186
7.2. Основные положения обеспечения хладостойкости сталей перлитного и мартенситного классов.....	187
7.3. Методология повышения хладостойкости сталей перлитного и мартенситного классов.....	188
7.4. Основные направления стабилизации структуры и апробация повышения хладостойкости металла сварных соединений.....	188
7.4.1. Способ повышения хладостойкости сталей феррито-перлитного класса.....	188

7.4.2. Способ повышения хладостойкости металла сварных соединений из феррито-перлитных сталей	190
7.4.3. Способ повышения хладостойкости коррозионно-стойких сталей мартенситного класса	194
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	195