

**В.С. КВАГИНИДЗЕ  
Г.И. КОЗОВОЙ  
Ф.А. ЧАКВЕТАДЗЕ  
Ю.А. АНТОНОВ  
В.Б. КОРЕЦКИЙ**

# **МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ГОРНЫХ МАШИН конструкции эксплуатация расчет**

*Допущено Учебно-методическим объединением  
вузов Российской Федерации по образованию  
в области горного дела в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по специальности «Открытые горные  
работы» направления подготовки «Горное дело»  
и по специальности «Горные машины и оборудование»  
направления подготовки «Технологические машины  
и оборудование»*



**МОСКВА**



**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»**



**2011**

УДК 622.271:621.791

ББК 33.2:34.6

К32

*Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых» СанПиН 1.2.1253—03, утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ 29.124—94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей № 77.99.60.953.Д.014367.12.10*

*Экспертиза проведена Учебно-методическим объединением высших учебных заведений Российской Федерации по образованию в области горного дела (письмо № 51-90/6 от 21.10.2008 г.)*

Рецензенты:

д-р техн. наук С.П. Яковлева (Институт физико-технических проблем Севера Сибирского отделения РАН);

проф., д-р техн. наук Б.Л. Герике (Институт угля и углехимии Сибирского отделения РАН)

**Квагинидзе В.С., Козовой Г.И., Чакветадзе Ф.А.,  
Антонов Ю.А., Корецкий В.Б.**

**К32** Металлоконструкции горных машин. Конструкции, эксплуатация, расчет: Учебное пособие. — М.: Издательство «Горная книга», 2011. — 392 с. (БИБЛИОТЕКА ГОРНОГО ИНЖЕНЕРА)

ISBN 978-5-98672-120-0 (в пер.)

Рассмотрены металлоконструкции горных машин, места разрушений, особенности основных положений металловедения в условиях сварочного нагрева и охлаждения металла. Приведены сведения о сталях, наиболее широко применяемых для производства сварных конструкций. Даны методики для определения параметров термического цикла сварки. Показано влияние основных характеристик нагрева и охлаждения в условиях сварочного процесса на ход структурно-фазовых превращений в металле сварного шва и в зоне термического влияния. Изложены вопросы свариваемости и последующей термической обработки сварных соединений сталей различных структурных групп.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Открытые горные работы» направления подготовки «Горное дело» и по специальности «Горные машины и оборудование» направления подготовки «Технологические машины и оборудование». Может быть полезно инженерно-техническим, научным работникам предприятий, связанных с проектированием, изготовлением и эксплуатацией горных машин.

ISBN 978-5-98672-120-0

УДК 622.271:621.791

ББК 33.2:34.6



9 785986 721200

© В.С. Квагинидзе, Г.И. Козовой, Ф.А. Чакветадзе,  
Ю.А. Антонов, В.Б. Корецкий, 2011

© Издательство «Горная книга», 2011

© Дизайн книги. Издательство «Горная книга», 2011

## ВВЕДЕНИЕ

---

Оборудование горно-добывающей промышленности, как правило, эксплуатируется в крайне тяжелых условиях. Оно подвергается воздействию высоких и низких температур, статических, динамических и циклических нагрузок, коррозионно-активных сред, а зачастую и сочетанию указанных факторов. Это существенно повышает технологическую и экологическую опасность конструкций и, как следствие, приводит к возрастанию требований по их надежности. Широкое использование сварочных процессов при изготовлении таких конструкций значительно усложняет задачу обеспечения их конструктивной прочности. Выбор материалов является первостепенным в решении проблемы повышения надежности сварных конструкций.

Основные промышленные способы сварки связаны с нагревом металла до высоких температур и последующим охлаждением с различными скоростями. Эти факторы, а также возникающие сварочные напряжения способствуют изменению структуры и свойств свариваемых металлов.

Сварка является основным технологическим процессом изготовления конструкций. Успешное применение тех или иных видов сварки, резки, наплавки и других смежных процессов во многом зависит от возможности обеспечения требуемого комплекса физико-механических и технологических свойств сварных соединений.

Фазовые и структурные превращения в условиях сварки являются более сложными и весьма существенно отличаются от превращений при термической обработке. Это объясняется

спецификой термдеформационного цикла сварки, под действием которого происходит формирование структуры и свойств сварных соединений (прочности, пластичности, вязкости, коррозионной стойкости и др.), определяющих надежность конструкции в целом. В связи с этим знание теории фазовых и структурных превращений и их взаимосвязи со свойствами необходимо для разработки оптимальной технологии сварки и последующей термической обработки сварных соединений.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
Глава 1. МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ГОРНЫХ МАШИН .....	7
1.1. Конструкции горно-транспортного оборудования .....	9
1.2. Структурные и фазовые составляющие стали .....	21
Металловедение сварных соединений .....	33
1.3. Основные характеристики механических свойств сталей ...	37
1.4. Классификация сталей .....	57
Глава 2. РАСЧЕТ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ .....	123
2.1. Методы расчета металлических конструкций .....	125
Расчет по предельным состояниям .....	125
Нагрузки и воздействия .....	128
Нормативные и расчетные сопротивления .....	132
2.2. Предельные состояния металлических конструкций и определение усилий в их элементах .....	135
2.3. Работа под нагрузкой и расчет элементов конструкции ....	139
Условие пластичности. Учет развития пластических деформаций при расчете конструкций .....	143
Предельные состояния и расчет растянутых элементов ....	144
Предельные состояния и расчет изгибаемых элементов ....	145
Работа и расчет изгибаемых элементов с учетом развития пластических деформаций .....	147
Предельные состояния и расчет стержней, сжатых осевой силой .....	156
Предельные состояния и расчет внецентренно растянутых и внецентренно сжатых элементов .....	160
Кручение, расчет на кручение элементов конструкций .....	169
Проверка местной устойчивости элементов .....	173
Пояса балок и колонн .....	175
Расчет элементов стальных конструкций на прочность с учетом хрупкого разрушения .....	181
Глава 3. ФОРМИРОВАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ .....	183
3.1. Физическая сущность сварки и условия образования сварных соединений .....	185
3.2. Термический цикл сварки и его расчет .....	188
Расчет термических циклов при сварке .....	191
Сварочные источники теплоты .....	192
Точечный постоянно действующий источник, перемещающийся с постоянной скоростью по поверхности полубесконечного тела .....	200

Быстродвижущийся точечный источник, перемещающийся с постоянной скоростью по поверхности полубесконечного тела . . . . .	202
Подвижный линейный источник, перемещающийся с постоянной скоростью в бесконечной пластине . . . . .	203
Влияние границ тела и теплоотдачи с поверхностей на температурное поле внутри детали . . . . .	204
Расчет основных параметров термического цикла сварки . . . . .	207
Глава 4. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ШВЫ . . . . .	209
4.1. Виды сварки и их характеристики . . . . .	211
4.2. Виды сварных соединений, классификация швов и их характеристика . . . . .	214
Виды сварных соединений . . . . .	214
Сварные швы . . . . .	216
4.3. Работа и расчет сварных соединений . . . . .	219
Работа и расчет соединений стыковых швов . . . . .	220
Работа и расчет соединений, выполненных угловыми швами . . . . .	222
Работа и расчет комбинированных соединений . . . . .	228
Особенности работы и расчета сварных соединений при действии динамических и вибрационных нагрузок . . . . .	230
4.4. Конструктивные требования к сварным соединениям . . . . .	231
Примеры расчета сварных соединений . . . . .	234
Глава 5. СТРУКТУРА СВАРНОГО ШВА . . . . .	237
5.1. Условия процесса кристаллизации . . . . .	239
Первичная структура металла . . . . .	243
Особенности кристаллизации металла сварного шва . . . . .	244
Химическая неоднородность металла сварного шва . . . . .	251
Вторичная кристаллизация металла шва . . . . .	253
5.2. Прогнозирование структурно-фазового состава металла в зоне сварного шва . . . . .	259
Глава 6. СВАРКА И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ . . . . .	273
6.1. Свариваемость сталей . . . . .	275
Сопrotивляемость образованию горячих трещин . . . . .	276
Холодные трещины при сварке . . . . .	281
Слоистые трещины . . . . .	285
Трещины повторного нагрева . . . . .	286
Разупрочнение . . . . .	288
Хрупкое разрушение . . . . .	290
6.2. Особенности сварки сталей разных структурных классов . . . . .	297
	389

Низкоуглеродистые нелегированные и низколегированные стали . . . . .	298
Теплоустойчивые стали . . . . .	307
Высоколегированные хромоникелевые стали. . . . .	311
Высокохромистые стали . . . . .	319
6.3. Термическая обработка сварных соединений . . . . .	323
Прогнозирование механических свойств сварных соединений по их структурно-фазовому составу. . . . .	339
Глава 7. СВАРОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ . . . . .	347
Причины возникновения остаточных напряжений и деформаций. . . . .	349
Разновидности и величина сварочных напряжений и деформаций. . . . .	350
Расчет остаточных сварочных деформаций . . . . .	352
Мероприятия, снижающие остаточные напряжения и деформации. . . . .	357
Припуски на усадку швов . . . . .	368
Глава 8. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ . . . . .	371
Структура стоимости металлических конструкций . . . . .	373
Общая характеристика изготовления и монтажа стальных конструкций с экономической точки зрения. . . . .	373
Определение стоимости стальных конструкции при проектировании. . . . .	381
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ . . . . .	384