

В.И. ГЛАДШТЕЙН

**МИКРОПОВРЕЖДАЕМОСТЬ
МЕТАЛЛА
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
ДЕТАЛЕЙ
ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ**



МАШИНОСТРОЕНИЕ

В.И. ГЛАДШТЕЙН

МИКРОПОВРЕЖДАЕМОСТЬ
МЕТАЛЛА
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ
ДЕТАЛЕЙ
ЭНЕРГООБОРУДОВАНИЯ



МОСКВА
МАШИНОСТРОЕНИЕ
2014

УДК 620.192.47

ББК 31.75-5

Г 52

Гладштейн В. И.

Г 52 Микрповреждаемость металла высокотемпературных деталей энергооборудования. — М.: Машиностроение, 2014. — 364 с.: ил.

ISBN 978-5-94275-738-0

Изложены научно-технические основы материаловедческого подхода к индивидуальной оценке ресурса по степени микрповрежденности металла деталей энергооборудования, работающих в условиях ползучести, изготовленных из сталей разного класса и по различной технологии. Дано описание различных видов микрповреждений. Рассмотрена новая методика оценки долговечности путем моделирования микрповрежденности образцами с концентраторами напряжений.

Для инженерно-технических работников, проводящих оценку ресурса металла энергооборудования и ведущих работы по освоению новых жаропрочных сталей в теплоэнергетике, может быть полезна студентам, изучающим методику оценки надежности металла длительно эксплуатирующегося энергооборудования на повышенные параметры пара.

УДК 621.039

ББК 22.5

ISBN 978-5-94275-738-0

© Автор, 2014

Содержание

Предисловие	3
Глава 1. Закономерности и контроль ползучести	6
1.1. Общие закономерности ползучести	6
1.1.1. Стадии ползучести и поврежденности	6
1.1.2. Контроль ползучести элементов паропроводов	10
1.1.3. Установившаяся скорость ползучести и долговечность (Соотношение Монкмана—Гранта)	15
1.1.4. Уравнение ползучести и длительной прочности феноменологического типа	18
1.2. Зависимость скорости ползучести от напряжений и температуры	21
1.2.1. Роль диффузии в процессе деформации при ползучести	21
1.2.2. Влияние дисперсных частиц на скорость ползучести	24
1.2.3. Влияние легирования	27
1.3. Основные типы микрповреждений	28
1.3.1. Деформация границ зерен — причина микрповрежденности	28
1.3.2. Поры и клиновидные трещины	32
Глава 2. Особенности микрповрежденности сталей разного структурного класса	35
2.1. Микрповреждения в низколегированных сталях	35
2.1.1. Термосиловые области образования микрповреждений .	35
2.1.2. Основные закономерности образования и роста пор	39
2.1.3. Связь карбидных реакций, сфероидизации и поробразования	48
2.2. Микрповрежденность высокохромистых сталей	52
2.2.1. Стали с 9—12% хрома, легированные молибденом, ванадием и ниобием	52
2.2.2. Высокохромистые стали с вольфрамом	58

2.3. Микрповреждения аустенитных сталей	65
2.3.1. Характер микрповреждений аустенитных сталей	65
2.3.2. Кинетические особенности зарождения клиновидных микротрещин в аустенитных сталях	68
2.3.3. Механизм микрповреждаемости монокристаллов интерметаллидных сплавов	71
Глава 3. Параметры и шкалы для оценки поврежденности	75
3.1. Теоретическая оценка поврежденности	75
3.1.1. Относительная поврежденность	75
3.1.2. Относительная сплошность	79
3.1.3. Линейный принцип суммирования повреждаемости	80
3.2. Шкалы и параметры при металлографической оценке микрповрежденности	86
3.2.1. Баллы по степени поврежденности	86
3.2.2. Относительная доля поврежденных границ	90
3.2.3. Коэффициент ресурса для оценки срока очередного обследования	93
3.3. Интегральные методы выявления микродефектности	101
3.3.1. Измерение плотности	101
3.3.2. Оценка степени сфероидизации и состояния карбидной фазы	104
3.3.3. Механические испытания	105
3.3.4. Сканирующая электронная микроскопия изломов	113
3.3.5. Скорость поверхностных ультразвуковых волн	114
3.3.6. Оценка напряжений с помощью компьютерной программы	118
Глава 4. Контроль микрповрежденности металла гибов паропроводов..	120
4.1. Выявление наименее надежных элементов	120
4.1.1. Специальные виды контроля	120
4.1.2. Диагностирование металла гибов	123
4.2. Особенности развития микрповрежденности гибов труб	125
4.2.1. Напряженное состояние гибов	125
4.2.2. Теоретический анализ роста поврежденности	128
4.2.3. Результаты многолетних наблюдений	131
4.2.4. Выбор контрольной группы гибов и точки контроля	137
4.3. Металлографическая оценка дефектности	140
4.3.1. Методика травления шлифов и получение реплик	140
4.3.2. Микрообразцы, вырезанные электроискровым устройством	146
4.3.3. Просвечивающая электронная микроскопия (на фольгах)	149
Глава 5. Микрповреждения сварных соединений и центробежнolitных труб	151
5.1. Микрповреждаемость сварных соединений	151
5.1.1. Повреждения в стыковых сварных соединениях	151

5.1.2. Повреждения в тройниках	159
5.1.3. Контроль сварных соединений и тройников	159
5.1.4. Классификация микроповрежденности металла сварных соединений	163
5.1.5. Графитизация металла элементов паропроводов	164
5.2. Структурные особенности и микроповрежденность металла центробежнолитых труб	167
5.2.1. Особенности структурного состояния металла	167
5.2.2. Микроповреждаемость в зонах ликвационной неоднородности	170
5.2.3. Диагностирование центробежнолитых труб	171

Глава 6. Микроповрежденность металла цельнокованых роторов, крепежа и литых корпусных деталей в зонах концентраторов напряжений	175
6.1. Цельнокованые роторы	175
6.1.1. Микроповрежденность галтелей дисков и тепловых канавок	175
6.1.2. Твердость — индикатор поврежденности	177
6.1.3. Оценка микроповрежденности металла роторов	182
6.1.4. Удаление поврежденного слоя в зонах повышенных напряжений	187
6.1.5. Измерение остаточной деформации осевого канала	188
6.1.6. Оценка повреждаемости роторов методом репликации ..	191
6.2. Крепежные детали	192
6.2.1. Особенность исчерпания ресурса в условиях релаксации напряжений	192
6.2.2. Структурные признаки исчерпания ресурса под впадинами резьбы	194
6.2.3. Сопротивление началу роста трещины в условиях ползучести	199
6.2.4. Методы и объемы контроля крепежа	204
6.3. Микроповрежденность металла литых корпусов арматуры и турбин	205
6.3.1. Изменение структуры и свойств в зависимости от выработанной доли ресурса	205
6.3.2. Места репликации корпусных деталей турбины	224
6.3.3. Виды контроля корпусов арматуры, тройников и литых колен	227
Глава 7. Стадийность разрушения и условия долома	232
7.1. Раскрытие трещины и относительная сплошность	232
7.1.1. Соотношение пластичности при разных механизмах разрушения	232
7.1.2. Уменьшение относительной сплошности с ростом раскрытия трещины	237
7.2. Механизм и силовые условия стадии долома	249

7.2.1 Особенности разрушения на финальной стадии ползучести	249
7.2.2. Силовые условия перехода в стадию долома	253
7.2.3. Фрактографическое исследование перехода от начального роста трещины к долому.	257
7.2.4. Зависимость критического напряжения долома от структуры	259
7.2.5. Влияние условий нагружения на критическую сплошность	264
7.2.6. Критическая сплошность у сталей разных классов	267
Глава 8. Прогнозирование ресурса и запаса толщины стенки на начальные дефекты	277
8.1. Прогнозирование ресурса по уровню начальной и критической сплошности	277
8.1.1. Определение зависимости относительной сплошности от времени нагружения	277
8.1.2. Прогнозирование времени живучести металла	284
8.2. Сравнительная оценка запаса толщины стенки с учетом начальных дефектов	308
8.2.1. Методика оценки	308
8.2.2. Определение запаса толщины стенки деталей из сталей разных классов.	312
Глава 9. Экспериментальное моделирование поврежденности металла высокотемпературных деталей образцами с надрезом.	322
9.1. Время живучести гибов паропроводов, имеющих микроповреждения	322
9.1.1. Материал исследования и методика оценки	322
9.1.2. Влияние микроповреждений на остаточный ресурс.	325
9.2. Время живучести литых корпусных деталей, имеющих макроповреждения	335
9.2.1. Материал и методика исследований	335
9.2.2. Обобщение данных по изменению структуры и свойств литого металла	339
9.2.3. Изменение живучести литых деталей в процессе эксплуатации.	342
Список литературы	346