

Д.М. ГУРЕЕВ

**ЛАЗЕРНАЯ И ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВАЯ
ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ**

Самара

Самарский государственный технический университет

2011



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Общая физика и физика нефтегазового производства»

Д.М. ГУРЕЕВ

ЛАЗЕРНАЯ И ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

Самара

Самарский государственный технический университет

2011

Печатается по решению редакционно-издательского совета СамГТУ

УДК 621.373.826

Г 95

Гуреев Д.М.

Г 95 Лазерная и лазерно-ультразвуковая обработка материалов: монография / Д.М. Гуреев. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2011. – 244 с.

ISBN 978-5-7964-1480-4

Изложены физические основы лазерной и лазерно-ультразвуковой обработок железо-углеродистых сплавов. На основе современных представлений о предельных состояниях системы "металл – внешнее воздействие" рассмотрена термофлуктуационная модель кооперативной перестройки решетки при фазовых превращениях в железе и сталях в существенно неравновесных условиях высоких скоростей нагрева и деформации. В соотношении с теоретическими предпосылками проведен анализ результатов экспериментальных исследований физических закономерностей формирования структурно-напряженного состояния поверхности преимущественно в инструментальных сталях при лазерном воздействии. Особо рассмотрен вопрос эффективного использования комбинированного лазерно-ультразвукового источника энергии при решении задач термомеханического упрочнения и легирования поверхности железоуглеродистых сплавов, качественного раскроя листового металла. Отдельное внимание уделено выявлению закономерностей протекания процесса износа в условиях сухого трения скольжения поверхностей, подвергнутых лазерной и лазерно-ультразвуковой обработкам.

Для научных работников и инженеров, занимающихся вопросами разработки технологий, основанных на использовании лазерного излучения, а также для студентов старших курсов вузов и аспирантов соответствующих специальностей.

Рецензенты: д-р физ.-мат. наук, проф. *В.И. Зынь*,
д-р физ.-мат. наук *И.В. Штиковский*

УДК 621.373.826

Г 95

ISBN 978-5-7964-1480-4

© Д.М. Гуреев, 2011

© Самарский государственный
технический университет, 2011

Печатается по решению редакционно-издательского совета СамГТУ

УДК 621.373.826

Г 95

Гуреев Д.М.

Г 95 **Лазерная и лазерно-ультразвуковая обработка материалов: монография / Д.М. Гуреев.** – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2011. – 244 с.

ISBN 978-5-7964-1480-4

Изложены физические основы лазерной и лазерно-ультразвуковой обработок железоуглеродистых сплавов. На основе современных представлений о предельных состояниях системы "металл – внешнее воздействие" рассмотрена термофлуктуационная модель кооперативной перестройки решетки при фазовых превращениях в железе и сталях в существенно неравновесных условиях высоких скоростей нагрева и деформации. В соотношении с теоретическими предпосылками проведен анализ результатов экспериментальных исследований физических закономерностей формирования структурно-напряженного состояния поверхности преимущественно в инструментальных сталях при лазерном воздействии. Особо рассмотрен вопрос эффективного использования комбинированного лазерно-ультразвукового источника энергии при решении задач термомеханического упрочнения и легирования поверхности железоуглеродистых сплавов, качественного раскроя листового металла. Отдельное внимание уделено выявлению закономерностей протекания процесса износа в условиях сухого трения скольжения поверхностей, подвергнутых лазерной и лазерно-ультразвуковой обработкам.

Для научных работников и инженеров, занимающихся вопросами разработки технологий, основанных на использовании лазерного излучения, а также для студентов старших курсов вузов и аспирантов соответствующих специальностей.

Рецензенты: д-р физ.-мат. наук, проф. *В.И. Зынь*,
д-р физ.-мат. наук *И.В. Шишковский*

УДК 621.373.826

Г 95

ISBN 978-5-7964-1480-4

© Д.М. Гуреев, 2011

© Самарский государственный
технический университет, 2011

287. Поляков А.А. Природа и границы применения избирательного переноса // Трение и износ. 1988. – Т. 9. № 3. – С. 473-480.
288. Алексеев Н.М., Буше Н.А. Некоторые аспекты совместимости материалов при трении. I. Подповерхностные процессы // Трение и износ. 1985. – Т. 6. № 5. – С. 773-783.
289. Костецкий Б.И., Натансон М.Э., Бершадский Л.И. Механические процессы при граничном трении. – М.: Наука. 1972. – 170 с.
290. Алексеев Н.М., Крагельский И.В., Шапиро А.М. Особенности пластического течения металлов при трении и их влияние на процессы трения и изнашивания // Трение и износ. 1983. – Т. 4. № 3. – С. 389-397.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ГЛАВА 1. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ	5
1.1. Передача энергии лазерного излучения обрабатываемым материалам	5
1.2. Формирование температурных полей в материалах под действием лазерного излучения	11
1.2.1. Импульсное лазерное излучение	11
1.2.2. Непрерывное лазерное излучение	40
1.3. Модельные представления о процессах перестройки решетки	49
1.3.1. Переходное состояние при термофлуктуационных процессах в металлах	49
1.3.2. Теория подобия при физико-химических превращениях	53
1.3.3. Кинетические модели фазовых превращений в металлах	55
1.3.3.1. Зарождение новой фазы	55
1.3.3.2. Миграция границ, рост новой фазы	57
1.3.3.3. Кинетические уравнения	59
1.3.4. Фазовое α - γ -превращение в железоуглеродистых сплавах	60
1.4. Термофлуктуационная модель фазовых превращений в железоуглеродистых сплавах при быстром нагреве	63
1.4.1. Время релаксации термофлуктуационной перестройки решетки	63
1.4.1.1. Анализ переходного состояния для процессов перестройки решетки	63
1.4.1.2. Расчет времени релаксации	67
1.4.2. Модель α - γ -превращения в железоуглеродистых сплавах	69

1.4.3. Описание кинетики фазовых превращений при быстром нагреве в автомодельном приближении	77
1.4.4. Анализ кинетики распада мартенсита в стали при быстром нагреве	80
1.4.5. Смещение температуры фазового равновесия в железе и стали	83
1.4.6. Смещение температуры плавления при быстром нагреве	86
1.4.7. Спектры энергий активации и энергетические уровни элементарных процессов перестройки решетки в металлах	87
1.5. Критерий стохастической неустойчивости кристаллической решетки и плавление кристаллов	92
1.6. Квантовая концепция перестройки кристаллической решетки	100
1.7. Формирование структурно-напряженного состояния поверхности при лазерном воздействии	109
1.7.1. Экспериментальный подход к исследованию процессов фазовых превращений при лазерном воздействии	110
1.7.2. Изменение структурно-напряженного состояния поверхности инструментальных сталей при сочетании процессов лазерной закалки и лазерного отпуска	112
1.8. Массоперенос элементов в зонах лазерного воздействия	125
1.8.1. Проявление ускоренной диффузии при фазовых превращениях в условиях быстрого нагрева	125
1.8.2. Направленная диффузия углерода	130
1.8.3. Диффузионное перераспределение хрома и вольфрама	137
ГЛАВА 2. ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ...	147
2.1. Физические процессы при лазерно-ультразвуковом воздействии	149
2.1.1. Теоретические предпосылки лазерно-ультразвукового упрочнения поверхности	149
2.1.2. Особенности гидродинамики в ванне лазерного расплава при воздействии мощного ультразвука	151
2.1.3. Влияние ультразвуковых вибраций на отрыв капель расплава при лазерном раскросе листового металла	154
2.1.4. Основные требования к ультразвуковым системам с точки зрения лазерно-ультразвуковой обработки	155
2.2. Экспериментальные исследования лазерно-ультразвукового воздействия	157
2.2.1. Лазерно-ультразвуковое упрочнение поверхности	157

2.2.2. Лазерное и лазерно-ультразвуковое упрочнение поверхности металлических пластин	166
2.2.3. Особенности фазовых превращений при сверхбыстрой кристаллизации лазерных расплавов быстрорежущих сталей	171
2.2.4. Лазерно-ультразвуковое формирование расплавов и легирование поверхности	188
2.2.5. Лазерно-ультразвуковой раскрой листового металла.....	201
2.2.6. Износостойкость поверхности зон лазерной и лазерно- ультразвуковой обработок	204
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	213
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	220