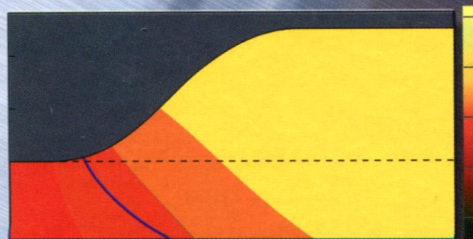


Г.Г. Гладуш
И.Ю. Смуров

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ



**Г.Г. Гладуш
И.Ю. Смуров**

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ



**МОСКВА
ФИЗМАТЛИТ®
2017**

УДК 621.9
ББК 34.63.1
Г 52

Гладуш Г. Г., Смуров И. Ю. **Физические основы лазерной обработки материалов.** — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2017. — 592 с. + 8 с. цв. вклейка. — ISBN 978-5-9221-1712-8.

В монографии описываются физические явления, составляющие основу большинства процессов лазерной обработки материалов. Изложение включает описание общих закономерностей нерезонансного воздействия лазерного излучения на вещество, находящееся в четырех состояниях: твердое тело, жидкость, газ и плазма. Рассматривается обратное воздействие вещества на структуру лазерного излучения при распространении последнего в узких каналах и образовании плазмы. В книге обобщены результаты ранних исследований по лазерной обработке материалов и исследования последнего времени.

Монография содержит теоретические модели и подробные численные расчеты; в нее включено более 500 рисунков, иллюстрирующих результаты экспериментальных исследований. Для описания сути процессов численные расчеты предваряются качественными теоретическими моделями, а также специальными модельными экспериментами.

Книга адресована специалистам в области новых технологий обработки материалов, а также аспирантам, магистрантам и студентам университетов.

Научное издание

ГЛАДУШ Геннадий Григорьевич
СМУРОВ Игорь Юрьевич

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Редактор *Е.И. Ворошилова*
Оригинал-макет: *Д.П. Вакуленко*
Оформление переплета: *А.В. Андросов*

Подписано в печать 12.06.2017. Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 37 + 0,5 цв. вкл. Уч.-изд. л. 41,1 + 0,55 цв. вкл. Тираж 100 экз.
Заказ №К-1018.

Издательская фирма «Физико-математическая литература»
МАИК «Наука/Интерпериодика»
117342, г. Москва, ул. Бутлерова, д. 17 Б
E-mail: porsova@fml.ru, sale@fml.ru. Сайт: <http://www.fml.ru>
Интернет-магазин: <http://www.fmllib.ru>

Отпечатано с электронных носителей издательства
в АО «ИПК «Чувашия»,
428019, г. Чебоксары, пр-т И. Яковлева, 13

ISBN 978-5-9221-1712-8



9 785922 117128

ISBN 978-5-9221-1712-8

© ФИЗМАТЛИТ, 2017

© Г. Г. Гладуш, И. Ю. Смуров, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
Введение	7
Глава 1. Общие вопросы распространения лазерного излучения в газах и плазме и физические процессы на поверхности конденсированных сред	9
1.1. Распространение и фокусировка излучения в вакууме, газах и плазме.	9
1.2. Поглощение, отражение и распространение излучения в полостях конденсированных сред	17
1.3. Физические процессы на поверхности конденсированных сред. Взаимодействие пара с окружающим газом	28
1.4. Кинетика и гидродинамика испарения.	36
1.5. Неустойчивость испарения конденсированной среды при воздействии лазерного излучения	45
Литература к главе 1	53
Глава 2. Механизмы лазерной обработки металлических поверхностей	57
2.1. Тепловая модель лазерного упрочнения поверхности сталей	57
2.2. Гидродинамические модели легирования поверхности металлов лазерным излучением	69
2.3. Физические механизмы наплавки	112
2.4. Механизмы лазерной очистки поверхностей	133
2.5. Моделирование процесса селективного лазерного спекания.	150
Литература к главе 2	171
Глава 3. Плазменные явления при лазерной обработке материалов	178
3.1. Теплофизические свойства плазмы благородных и молекулярных газов и паров металлов	178
3.2. Механизмы пробоя газов вблизи твердой поверхности излучением непрерывного лазера.	183
3.3. Оптический разряд, горящий вблизи поверхности мишени	203
3.4. Волны светового горения и непрерывный оптический разряд в потоке газа.	217
3.5. Лазерный плазмотрон и осаждение пленок.	233
Литература к главе 3	237

Глава 4. Закономерности и механизмы глубокого проплавления металлов лучом непрерывного лазера	242
4.1. Физические процессы при глубоком проплавлении неподвижного образца	244
4.2. Тепловая модель глубокого проплавления движущегося образца	255
4.3. Гидродинамические процессы при глубоком проплавлении образца	269
4.4. Модели парогазовой каверны конечных размеров	284
4.5. Дистанционная и гибридная сварка металлов	306
Литература к главе 4	322
Глава 5. Физика газолазерной и дистанционной резки материалов	327
5.1. Механизм дистанционной резки металлов непрерывным лазерным излучением	327
5.2. Физика удаления расплава при сквозном проплавлении вертикально расположенных металлических пластин	328
5.3. Закономерности газолазерной резки материалов	344
5.4. Физические процессы при лазерной резке в струе кислорода	382
Литература к главе 5	390
Глава 6. Импульсное воздействие лазерного излучения на материалы	394
6.1. Физика абляции и осаждения пленок под действием импульсного лазерного излучения	395
6.2. Моделирование синтеза наночастиц при импульсном лазерном испарении	415
Литература к главе 6	427
Глава 7. Импульсная плазма вблизи поверхности	431
7.1. Импульсный оптический пробой вблизи поверхности	431
7.2. Неравновесные механизмы импульсного пробоя	440
7.3. Динамика плазменного факела и его взаимодействие с лазерным лучом	447
7.4. Плазменные процессы в парах материалов	472
Литература к главе 7	487
Глава 8. Физика разрушения и глубокого проплавления металлов импульсным лазерным излучением	492
8.1. Качественная модель гидродинамики удаления расплава под действием лазерного импульса	492
8.2. Экспериментальные исследования воздействия на материалы миллисекундных лазерных импульсов	504
8.3. Разрушение материалов микросекундными и ультракороткими лазерными импульсами	510

8.4. Физика глубокого проплавления металлов импульсным излучением	523
Литература к главе 8	529
Глава 9. Воздействие на материалы импульсно-периодического лазерного излучения	531
9.1. Моделирование тепловых процессов при импульсно-периодическом облучении поверхности образца	532
9.2. Тепловая модель глубокого проплавления металлов импульсно-периодическим лазерным излучением с низкой скважностью. . .	541
9.3. Физические процессы при сварке металлов импульсно-периодическим излучением с большой скважностью.	548
9.4. Сверление и резка материалов импульсно-периодическим излучением.	563
9.5. Разрушение и дистанционная резка металлов с помощью импульсно-периодического лазера.	570
Литература к главе 9	590