

УДК 53:621.37:621.9
ББК 22.3+32.86-5+34.642
О-65



Издание осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда
фундаментальных исследований по проекту № 11-08-07007-Д

Издание РФФИ не подлежит продаже

Оришич, А. М.

Актуальные проблемы физики лазерной резки металлов /
А. М. Оришич, В. М. Фомин; отв. ред. А. М. Шалагин; Ин-т теорети-
ческой и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН. —
Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. — 176 с.

ISBN 978-5-7692-1212-3

В книге рассмотрены наиболее важные физические процессы, обуславли-
вающие качество лазерной резки металлов. Применительно к резке толстых
стальных листов рассмотрены газодинамические проблемы и удаление пленки
расплава, сформулированы критерии качественного реза, дано эксперименталь-
ное обоснование законам подобия и критическим безразмерным параметрам,
исследованы структура и свойства поверхности реза. Приведены инженерные
формулы для определения параметров лазерной резки стали с минимальной
шероховатостью.

Книга предназначена для специалистов, занимающихся лазерной обработ-
кой материалов, а также для студентов старших курсов и аспирантов.

Рецензент

канд. физ.-мат. наук, проф. *Б. А. Князев*

ISBN 978-5-7692-1212-3

© Оришич А. М., Фомин В. М., 2012
© Институт теоретической и прикладной механики
им. С. А. Христиановича СО РАН, 2012
© Оформление. Издательство СО РАН, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
Глава 1	
ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ	16
1.1. Методы численного моделирования течения газа в узких щелях лазерного реза	18
1.2. Экспериментальное моделирование процессов лазерной резки	21
1.3. Особенности сверхзвукового течения газа в канале лазерного реза	23
1.4. Дозвуковое течение газа в узком канале	26
1.5. Применение двойного сопла при резке толстых металлов	29
Глава 2	
УДАЛЕНИЕ ПЛЕНКИ РАСПЛАВА ПРИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКЕ МЕТАЛЛОВ	33
2.1. Результаты натуральных экспериментов по определению ширины и глубины штрихов, размера капель расплава	35
2.2. Удаление пленки расплава нейтральным газом	47
2.3. Неустойчивость течения пленки расплава при ее удалении технологическим газом	58
2.3.1. Визуализация процессов плавления, течения и разрушения расплава парафина в условиях взаимодействия со струей подогретого воздуха внутри плоского канала	59
2.3.2. Визуализация лазерной резки легкоплавкого сплава Розе	63
2.4. Формирование структуры поверхности при кислородной газолазерной резке металла	69

Глава 3	
ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ CO₂-ЛАЗЕРА С САМОФИЛЬТРУЮЩИМ РЕЗОНАТОРОМ (СФР) ДЛЯ РЕЗКИ МЕТАЛЛА 86	
3.1. ЛАЗЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ С САМОФИЛЬТРУЮЩИМ РЕЗОНАТОРОМ ДЛЯ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ	89
3.2. ФОКУСИРОВКА ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА	96
3.3. СРАВНЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ ИЗЛУЧЕНИЕМ CO ₂ -ЛАЗЕРА С САМОФИЛЬТРУЮЩИМ И УСТОЙЧИВЫМ РЕЗОНАТОРАМИ	100
Глава 4	
ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РЕЗКИ МЕТАЛЛА ИЗЛУЧЕНИЕМ CO₂-ЛАЗЕРА 106	
4.1. СКОРОСТЬ РЕЗКИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРА	107
4.2. ВЛИЯНИЕ ДАВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА НА СКОРОСТЬ РЕЗКИ СТАЛИ	108
4.3. ШИРИНА РЕЗА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ ФОКУСА И ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ	110
4.4. ЗАВИСИМОСТЬ ШИРИНЫ РЕЗА ОТ ДАВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА	114
4.5. ШИРИНА РЕЗА ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ТОЛЩИНЕ ЛИСТА	115
4.6. ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ РЕЗА	116
Глава 5	
КРИТЕРИАЛЬНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКЕ МЕТАЛЛА 118	
5.1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ БЕЗРАЗМЕРНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ЗАКОНОВ ПОДОБИЯ ГАЗОЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ ТОЛСТЫХ СТАЛЬНЫХ ЛИСТОВ	119
5.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ КИСЛОРОДНО-ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ	123
5.3. ОПТИМАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КИСЛОРОДНО-ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ	128
Глава 6	
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КИСЛОРОДНО-ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ ТОЛСТЫХ СТАЛЬНЫХ ЛИСТОВ 131	
6.1. ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ С КИСЛОРОДОМ В КАЧЕСТВЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ГАЗА	132
6.2. МОЩНОСТЬ, ЗАТРАЧИВАЕМАЯ НА ПЛАВЛЕНИЕ МЕТАЛЛА В ЗОНЕ РЕЗА	134
6.3. ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ НА НАГРЕВ ОБРАЗЦА ЗА СЧЕТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ	135
6.4. ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОГЛОЩЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ РЕЗКЕ ТОЛСТЫХ СТАЛЬНЫХ ЛИСТОВ	136
6.5. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС КИСЛОРОДНО-ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ СТАЛИ	137

Глава 7	
РЕЗКА ТОЛСТЫХ СТАЛЬНЫХ ЛИСТОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУИ КИСЛОРОДА 141	
7.1. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА РЕЗКИ МЕТАЛЛА КИСЛОРОДНОЙ СТРУЕЙ ПРИ ПОДДЕРЖКЕ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА	—
7.2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУИ В ПЛОСКОМ КАНАЛЕ	143
7.3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА РЕЗКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И СВЕРХЗВУКОВОЙ СТРУИ КИСЛОРОДА	147
Глава 8	
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СТАЛИ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ 151	
8.1. ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛА ПРИ КИСЛОРОДНО-ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКЕ	152
8.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ И СТРУКТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ	159
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 164	