

А.Ф. Пузряков

Теоретические ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

*Допущено Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности
«Машины и технология высокоэффективных процессов
обработки материалов» направления подготовки
дипломированных специалистов
«Машиностроительные технологии и оборудование»*

Москва
Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана
2003

УДК 621.793(075.8)

ББК 34.55

П1882

Рецензенты:

кафедра «Материаловедение и технология обработки материалов» Российского государственного технологического университета им. К.Э. Циолковского (МАТИ — РГТУ); д-р техн. наук, проф. В.В. Кудинов

Пузряков А.Ф.

П1882 Теоретические основы технологии плазменного напыления: Учебное пособие по курсу «Технология конструкций из металлокомпозитов». – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 360 с.: ил.

ISBN 5-7038-1958-X

Изложены теоретические основы и практика использования одного из перспективнейших технологических методов защиты изделий от воздействия внешней среды — плазменного напыления. Описаны методы нанесения, оборудование и материалы для покрытий различного функционального назначения. Обобщены экспериментальные данные и результаты теоретических расчетов отечественных и зарубежных исследователей. Рассмотрены различные методы испытаний и свойства напыленных покрытий, приведены области эффективного использования покрытий.

Содержание учебного пособия соответствует курсу лекций, который автор читает в МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и технология высокоэффективных процессов обработки материалов» направления подготовки дипломированных специалистов «Машиностроительные технологии и оборудование». Будет полезно инженерно-техническим работникам машиностроительной, энергетической, металлургической и других отраслей промышленности.

УДК 621.793(075.8)

ББК 34.55

ISBN 5-7038-1958-X

© А.Ф. Пузряков, 2003

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003

ПРЕДИСЛОВИЕ

Достижение высокого качества машин и аппаратов, выпускаемых промышленностью при минимально возможных ценах, невозможно без применения наиболее прогрессивных, экономически выгодных технологических методов. В большинстве случаев современные машины эксплуатируются в жестких условиях контактирования с высокотемпературными газовыми потоками, агрессивными газами и абразивными веществами, вызывающими интенсивный износ или коррозию. В связи с этим возникает необходимость применения специальных приемов, обеспечивающих радикальное повышение износостойкости, жаропрочности, коррозионной стойкости и других свойств рабочей поверхности материалов.

Увеличение срока службы деталей машин можно обеспечить путем нанесения на поверхности этих деталей покрытий, обладающих необходимым уровнем эксплуатационных свойств.

Существует большое количество химических, гальванических и физических методов нанесения покрытий. Особый интерес в последнее время вызывают плазменные методы нанесения покрытий различного функционального назначения. Высокая производительность, простота технологии, относительно низкая себестоимость нанесения покрытия, экологическая чистота процесса, возможность обработки деталей различной конфигурации и габаритов позволяют использовать плазменное напыление во многих областях техники.

Применение плазменных технологий, активно внедряющихся в последнее время в промышленность, дает возможность решить

многие проблемы производства с минимальными затратами. Объем использования плазменных покрытий в России и за рубежом постоянно возрастает. Так, лишь только фирмой «Дженерал электрик» в 1975 г. были нанесены износостойкие покрытия на детали 2000 наименований на сумму 40 млн долл. В настоящее время в США половину всех работ по нанесению покрытий на металлы и керамику выполняют с помощью плазменного напыления.

Однако эта молодая и потому мало известная широкому кругу технических работников технология недостаточно освещена в отечественной и зарубежной литературе по целому ряду объективных и субъективных причин.

Необходимость подготовки специалистов по технологии плазменного напыления обусловлена расширением областей применения плазменных покрытий в различных отраслях промышленности и особенно в машиностроении.

При написании учебного пособия были использованы опыт преподавания автора на кафедре «Технологии ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, а также работы сотрудников лаборатории плазменных технологий, обобщены достижения отечественных и зарубежных исследователей.

Особенность данного издания в отличие от ряда монографий и учебников состоит в том, что основное внимание в нем уделено теоретическим вопросам процесса плазмообразования, поведению напыляемых частиц в струе, методам оценки свойств покрытий, способам управления качеством напыленных деталей с покрытиями с помощью влияния на напыленный слой внешних воздействий (вибрации, выносной дуги пульсирующей мощности, электроискровой обработки подложки в процессе напыления и др.), разработке алгоритмов управления процессом напыления и методам автоматизированного проектирования покрытий.

По мнению многих исследователей, на стабильность свойств напыленных покрытий в той или иной степени влияет около 60 параметров, проконтролировать которые оператор физически не в состоянии, поэтому воспроизводимость свойств недостаточно высока.

Математическая формализация процесса напыления создает реальную возможность включения ЭВМ в технологический процесс нанесения покрытий, тем самым значительно упрощая реализацию процесса и улучшая стабильность свойств деталей с покрытиями.

Данная книга, безусловно, полезна для студентов механических, технологических и конструкторских специальностей высших учебных заведений, а также широкому кругу инженерно-технических работников и аспирантов.

При выводе основных математических зависимостей не исключены промежуточные выкладки с той целью, чтобы читатели могли самостоятельно составлять программы для ЭВМ, пригодные для решения их конкретных задач.

Автор выражает благодарность кафедре «Технология ракетно-космического машиностроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана, сотрудникам и аспирантам лаборатории плазменных технологий за помощь в работе, а также рецензентам за ценные замечания.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	6
Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ	10
1.1. Анализ основных требований к материалам и свойствам покрытий в зависимости от условий эксплуатации деталей	11
1.2. Анализ технических и технологических возможностей газотермических методов нанесения покрытий ..	16
1.3. Классификация материалов для нанесения покрытий	35
1.4. Факторы, влияющие на качество плазменных покрытий	46
1.5. Способы управления качеством напыляемых покрытий	52
1.6. Этапы и задачи создания управляемых автоматизированных технологических процессов нанесения газотермических покрытий	62
Глава 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ	73
2.1. Структура математической модели	74
2.2. Энергетические и тепловые характеристики плазмотрона	75
2.3. Тепловые и динамические параметры плазменной струи	81
2.4. Термодинамические и переносные свойства плазмообразующих газов	87
2.5. Расчет параметров частиц в плазменной струе	94
2.6. Влияние режимов плазменного напыления на свойства покрытий	104

Глава 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭВМ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ НАПЫЛЕНИЯ	108
3.1. Структура задач, решаемых ЭВМ	108
3.2. Алгоритмы выбора режимов напыления	117
3.3. Алгоритмы стабилизации и управления процессом нанесения покрытий	123
Глава 4. МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ НАПЫЛЯЕМЫХ ПОКРЫТИЙ	127
4.1. Методы повышения стабильности процесса плазменного напыления	127
4.2. Управление свойствами покрытий наложением колебаний	138
4.3. Управление качеством покрытий путем наложения электрической дуги пульсирующей мощности	154
4.4. Напыление покрытий с совмещенной электроискровой обработкой подложки	185
Глава 5. МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА НАПЫЛЕНИЯ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ИЗДЕЛИЙ С ПОКРЫТИЯМИ... 205	
5.1. Методики измерения скорости, температуры напыляемых частиц и пористости покрытия	206
5.2. Методики исследования механических свойств напыленных покрытий	211
5.3. Расчетно-экспериментальные методики определения остаточных напряжений	229
5.4. Методики оценочных расчетов работоспособности деталей с покрытиями	237
5.5. Разработка принципов создания композиционных армированных покрытий большой толщины	263
Глава 6. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ (САПР) НАНЕСЕНИЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ	282
6.1. Структурная схема САПР нанесения покрытий	284
6.2. Теория нечетких множеств в формализации процесса нанесения покрытий	288
6.3. Разработка критериев и функционалов оптимизации	293
6.4. Разработка алгоритмов проектирования и оптимизации технологических процессов	301

Глава 7. ТЕХНОЛОГИЯ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ	319
7.1. Технология напыления восстанавливающих, упрочняющих и защитных покрытий	319
7.2. Технология изготовления корковых деталей	342
7.3. Кинематические режимы напыления	346
Список литературы	354