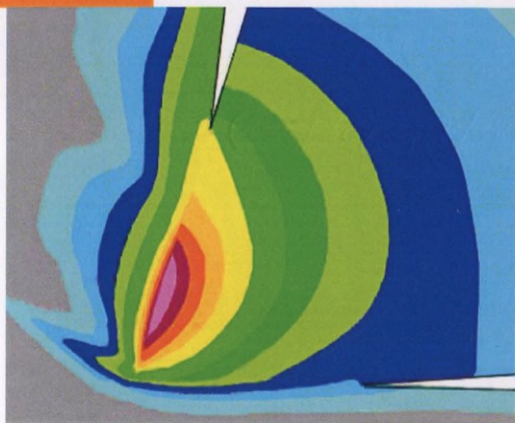


621.91
И 73

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ



Учебник



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Запорожский национальный технический университет
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
Сумский государственный университет

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ РЕЗАНИЕМ

Учебник

для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальностям
«Прикладная механика» и «Отраслевое машиностроение»

Под общей редакцией
А. И. Грабченко и В. А. Залого



Сумы
Университетская книга
2017

УДК 621.91(075.8)

ББК 34.63-1я73

И 73

Рекомендовано ученым советом Запорожского национального технического университета (протокол № 3 от 8 ноября 2016 г.) и Сумского государственного университета (протокол № 5 от 10 ноября 2016 г.)

Рецензенты:

Д. В. Сталинский, д-р техн. наук, проф., генеральный директор ГП УкрНТЦ «Энергосталь» (г. Харьков);

В. М. Тонконогий, д-р техн. наук, проф., директор Института промышленных технологий, дизайна и менеджмента Одесского национального политехнического университета

Авторы: Грабченко Анатолий Иванович, Залого Вильям Александрович, Внуков Юрий Николаевич, Верезуб Николай Владимирович, Доброскок Владимир Ленинмирович, Майборода Владимир Станиславович, Марцинковский Василий Сигизмундович; Посвятенко Эдуард Карпович, Пыжов Иван Николаевич, Саленко Александр Федорович, Тарасюк Анатолий Петрович, Тарельник Вячеслав Борисович, Узунян Матвей Данилович, Фадеев Валерий Андреевич, Федорович Владимир Алексеевич, Якубов Февзи Якубович, Якубов Чингиз Февзийович

И 73 Интегрированные процессы обработки материалов резанием: учебник [для высш. учебн. заведений] / А. И. Грабченко, В. А. Залого, Ю. Н. Внуков и др. ; под общ. ред. А. И. Грабченко и В. А. Залого. — Сумы: Университетская книга, 2017. — 451 с.

ISBN 978-966-680-805-2

Учебник подготовлен в соответствии с программами и учебными планами ведущих технических университетов и отражает современный уровень информации о нетрадиционных способах изготовления изделий. Из огромного количества действующих технологий выбраны те, которые базируются на принципе интегрированных технологий и обеспечивают повышение эффективности всего производства. При создании учебника использованы оригинальные материалы отечественных и зарубежных вузов и научных центров.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальностям «Прикладная механика» и «Отраслевое машиностроение», а также для студентов, магистров и аспирантов машиностроительных специальностей, инженеров и технических работников машиностроительных отраслей.

УДК 621.91(075.8)

ББК 34.63-1я73

ISBN 978-966-680-805-2

© А. И. Грабченко, В. А. Залого,
Ю. Н. Внуков и др., 2017

© ООО «ИТД “Университетская
книга”», 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ.....	5
1.1. Общий тепловой анализ зоны резания.....	5
1.2. Методики экспериментального определения мощности теплового потока, фактически развиваемого на контактных поверхностях с учетом теплообмена.....	7
1.3. Энергетический анализ контактных процессов при резании металлов в изотермических условиях.....	11
1.4. Энергетический анализ влияния теплопроводности обрабатываемого материала на тепло разгрузку контактных поверхностей.....	16
1.5. Энергетическая оценка причин превалирования износа по одной из поверхностей инструмента.....	21
1.6. Теплофизическое обоснование эффективности резания с искусственным нагревом.....	24
1.7. Энергетические характеристики процесса резания полимерных композитов.....	33
Вопросы для самостоятельного контроля.....	46
Список литературы к главе 1	47
ГЛАВА 2. ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ.....	49
2.1. Целевые рабочие процессы изготовления изделий в машиностроении.....	49
2.1.1. Деление-дозирование материала.....	50
2.1.2. Соединение.....	50
2.1.3. Формообразование.....	51
2.1.4. Изменение физико-механических и химических свойств.....	51
2.1.5. Размерная обработка деталей.....	52
2.1.6. Финишная обработка поверхности деталей.....	54
2.1.7. Сборка.....	55
2.1.8. Испытание машин.....	56
2.2. Тенденции, принципы и критерии создания интегрированных процессов обработки материалов резанием.....	56
2.2.1. Тенденции развития методов обработки материалов резанием.....	56
2.2.2. Принципы и методы создания интегрированных процессов обработки материалов резанием.....	57
2.3. Классификация интегрированных процессов обработки материалов резанием.....	59

2.3.1. Принципы систематики	59
2.3.2. Комплекс энергетических признаков	60
2.3.2.1. Вид энергии, непосредственно подводимой к объекту	60
2.3.2.2. Энергия, определяющая съём материала и физический механизм формообразования	64
2.3.2.3. Энергия, определяющая образование формы	66
2.3.2.4. Подвод энергии и распределение ее в пространстве, занимаемом объектом	66
2.3.2.5. Энергоемкость процесса формообразования	67
2.3.2.6. Комплекс технологических признаков	68
2.3.3. Комплекс инструментальных признаков	69
2.3.3.1. Конструктивные элементы инструмента	69
2.3.3.2. Конструктивные признаки инструмента	71
2.3.3.3. Соотношение процессов резания и пластического деформирования	71
2.3.3.4. Виды рабочих движений инструмента	72
2.3.3.5. Характер рабочих движений инструмента	73
2.3.3.6. Скорость рабочих движений инструмента	73
2.3.3.7. Жесткость рабочей части инструмента	74
2.3.4. Комплекс признаков формообразования	74
2.3.4.1. Классификация формообразующих поверхностей деталей	74
2.3.4.2. Элементы теории формообразования	78
2.3.4.3. Метод размерного формообразования	78
2.3.4.4. Главный физический процесс, определяющий размерное формообразование	81
2.3.4.5. Характер формообразования	81
2.3.4.6. Состояние части материала объекта, удаленного в процессе формообразования	82
Вопросы для самостоятельного контроля	83
Список литературы к главе 2	84
ГЛАВА 3. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ	85
3.1. Резание с опережающим пластическим деформированием	85
3.2. Совмещение в одном инструменте режущих и деформирующих элементов (РЭ, ДЭ)	92
3.2.1. Деформирующее протягивание	92
3.2.2. Режущее протягивание	93
3.2.3. Интегрированное протягивание	96
3.3. Резание с предварительной приработкой режущего инструмента	98

3.4. Процесс резания с интегрированной кинематикой (на примере тангенциального точения)	116
3.4.1. Понятие о процессе резания с интегрированной кинематикой.....	116
3.4.2. Общие сведения о процессе тангенциального точения.....	124
3.4.3 Физические явления, сопровождающие процесс интегрированного резания.....	135
3.4.4. Теоретические предпосылки сухого резания при тангенциальном точении инструментами из твердых сплавов.....	139
3.4.5. Практическая реализация тангенциального резания.....	149
3.5. Резание инструментом с покрытиями.....	164
3.5.1. Влияние покрытий на условия резания, износ и стойкость инструмента.....	164
3.5.2 Взаимосвязь контактных характеристик и параметров стружкообразования при резании.....	166
3.5.3. Влияние покрытия на основные характеристики процесса резания.....	169
3.5.4. Износ и стойкость инструмента с покрытием.....	180
3.5.5. Конструирование многослойных покрытий для режущих инструментов.....	188
3.5.6. Методы оценки основных эксплуатационных свойств покрытий для режущих инструментов.....	190
3.5.6.1. <i>Определение толщины покрытия.....</i>	190
3.5.6.2. <i>Определение микротвердости покрытий.....</i>	191
3.5.6.3. <i>Определение прочности сцепления покрытия с подложкой (инструментальным материалом).....</i>	192
3.5.6.4. <i>Определение адгезионных свойств покрытий к обрабатываемому материалу.....</i>	192
3.5.6.5. <i>Оценка износостойкости покрытия в условиях резания.....</i>	195
3.5.7. Создание многослойного покрытия для инструмента из быстрорежущей стали при обработке железо-углеродистого материала Сталь 45.....	196
3.6 Упрочнение режущей части инструментом путем интегрированного электроэрозионного легирования	199
3.6.1 Современное состояние теории и практики технологии электроэрозионного легирования металлорежущего инструмента	199
3.6.2. Интегрированные технологии электроэрозионного легирования	206
3.6.2.1. <i>Интегрированные технологии нанесения двухслойных и квазимногослойных электроэрозионных покрытий</i>	207
3.6.2.2. <i>Интегрированные технологии нанесения композиционных электроэрозионных покрытий</i>	208

3.6.2.3. <i>Интегрированные технологии, сочетающие ЭЭЛ с другими способами улучшения режущих свойств инструментов</i>	210
3.6.2.4. <i>Интегрированные технологии улучшения режущих свойств инструментов методом ЭЭЛ пучком электродов.</i>	211
Вопросы для самостоятельного контроля.....	213
Список литературы к главе 3.....	217
ГЛАВА 4. ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ АБРАЗИВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ.....	223
4.1. Разработка методологии управления параметрами режущего рельефа алмазно-абразивного инструмента.....	223
4.2. Алмазное шлифование с вибрациями и управлением рабочей поверхностью кругов.....	227
4.2.1. Общие положения.....	227
4.2.2. Реализация процесса применительно к заточным станкам, работающим торцевыми кругами.....	228
4.2.3. Реализация процесса применительно к кругло,- плоскошлифовальным и заточным станкам, работающим периферийными кругами.....	230
4.2.4. Реализация процесса применительно к плоско шлифовальным станкам с вертикальным шпинделем, работающим торцовыми кругами.....	234
4.2.5. Реализация процесса применительно к профильному шлифованию периферийными кругами.....	235
4.3. Алмазное шлифование с вибрациями и управлением параметрами РПК.....	237
4.3.1. Основные предпосылки для усовершенствования управляемого процесса шлифования ПСТМ.....	237
4.3.2. Шлифование с введением в зону обработки инфразвуковых колебаний.....	240
4.3.3. Управляемый процесс шлифования с дополнительным наложением ультразвуковых колебаний.....	250
4.3.4. Моделирование процесса шлифования с наложением ультразвуковых колебаний.....	251
4.3.5. Влияние вибрационных колебаний на НДС зоны шлифования.....	254
4.3.6. Разработка адаптивной системы управления параметрами РПК.....	258
4.4. Виброабразивная обработка.....	261
4.4.1. Сущность, основные параметры и технологические возможности виброабразивной обработки.....	262
4.4.2. Технологическое оснащение, оборудование, приспособления, инструментальная среда, технологическая жидкость.....	266

4.4.3. Инструментальная среда (ОС).....	280
4.4.4. Технологические жидкости (ТЖ).....	283
4.4.5. Разработка технологической операции ВиАО.....	285
4.5. Магнитно-абразивная обработка.....	288
4.5.1. Основные составляющие метода MAO.....	290
4.5.2. Краткая характеристика методов и схем для реализации процесса магнитно-абразивной обработки.....	290
4.5.3. Порошковые материалы, применяемые при MAO.....	298
4.5.4. Конструктивные особенности формообразующих MAI элементов	305
4.5.5. Основные закономерности процесса MAO.....	306
4.5.6. Скорость резания при MAO.....	311
4.5.7. Силы резания при MAO.....	312
4.5.8. Магнитно-абразивная обработка деталей сложной пространственной конфигурации.....	314
4.5.9. MAO концевого режущего инструмента	315
4.5.10. Обеспечение качества рабочих лопаток ГТД магнитно- абразивным методом.....	318
4.5.11. Влияние магнитно-абразивной обработки на состояние поверхности и физико-механические характеристики поверхностного слоя лопаток ГТД.....	321
4.5.12. Влияние MAO на формирование технологических остаточных напряжений в поверхностном слое лопаток ГТД.....	322
4.5.13. Влияние наследственности обработки на состояние поверхности и физико-механические свойства поверхностного слоя лопаток.....	326
4.5.14. Реализация интегрированного процесса магнитно- абразивного полирования в потоке газовой среды внутренних поверхностей полимерных оптических изделий.....	328
4.5.15. Конструкция полировальной головки для реализации интегрированного процесса магнитно-абразивного полирования внутренних поверхностей в газовой среде	331
4.6. Алмазно-искровое шлифование.....	335
4.6.1. Сущность процесса.....	335
4.6.2. Особенности АИШ твёрдых сплавов.....	340
4.6.3. Работоспособность алмазных зёрен.....	342
4.6.4. Комплексные показатели процесса.....	345
4.6.5. Особенности износа алмазных кругов и зёрен.....	346
4.6.6. Остаточные напряжения.....	354
4.7. Силовое (глубинное) электроалмазное шлифование.....	359
4.7.1. Общие сведения о процессе АЭХШ. Краткая характеристика процесса.....	360

4.7.2. Физические особенности силового электроалмазного шлифования.....	366
4.7.2.1. Рабочий зазор.....	366
4.7.2.2. Гидродинамика электролита.....	368
4.7.2.3. Кинетика растворения твердых сплавов и сталей.....	371
4.7.2.4. Действительная плотность тока и рабочее напряжение.....	374
4.7.2.5 Роль электроэрозии.....	381
4.7.2.6. Разрушение обрабатываемого материала.....	385
4.7.2.7. Сопутствующие механизмы разрушения.....	387
4.7.3. Производительность процесса и износостойкость алмазных кругов.....	392
4.7.4. Качество поверхностного слоя.....	396
4.7.4.1. Макро- и микрорельеф обработанной поверхности.....	396
4.7.4.2. Шероховатость обработанной поверхности.....	399
4.7.4.3. Остаточные напряжения.....	400
4.7.4.4. Стойкость твердосплавного инструмента.....	401
4.7.5. Практическая реализация силового электроалмазного шлифования.....	403
4.8. Резание материалов в сопровождении сверхзвуковыми струями жидкости с примесями абразивов (гидроабразивное резание).....	406
4.8.1. Гидроструйное и гидроабразивное резание.....	406
4.8.2. Водоледяное резание.....	422
4.8.3 Основные зависимости струйно-абразивного резания.....	426
4.8.4. Надежность процесса.....	428
4.8.5. Эффекты управляемого разрушения материалов на основе интеграции факторов влияния.....	432
Вопросы для самостоятельного контроля.....	434
Список литературы к главе 4.....	438

Підручник підготовлено відповідно до програм та навчальних планів провідних технічних університетів і віддзеркалює сучасний рівень інформації щодо нетрадиційних способів виготовлення виробів. Використано переваги нового підходу, що дозволило із великої кількості діючих технологій вибрати саме ті, як і базуються на принципі інтегрованих технологій, включаючи потенціали високоефективних технологій, переваги яких об'єднуються, забезпечуючи підвищення ефективності всього виробництва. Сучасному рівню підручника в великій мірі сприяло залучення оригінальних матеріалів, отриманих у вітчизняних та зарубіжних вузах та наукових центрах. Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальностями «Прикладна механіка» та «Галузеве машинобудування», а також для студентів, магістрів та аспірантів машинобудівних спеціальностей, інженерів і технічних працівників машинобудівних галузей.

Навчальне видання

Грабченко Анатолій Іванович
Залога Вільям Олександрович
Внуков Юрій Миколайович та ін.

Інтегровані процеси обробки матеріалів різанням

Підручник
(російською мовою)
Друкується в авторській редакції

Директор видавництва Р. В. Кочубей. Головний редактор В. І Кочубей
Дизайн обкладинки і макет В. Б. Гайдабрус. Технічний редактор А. О. Литвиненко
Підписано до друку 10.02.2016. Формат 60x84 ¹/₁₆. Папір офсетний. Друк цифровий.
Ум. друк. арк. 26,2. Обл.-вид. арк. 23,7. Тираж 300 прим. Замовлення № Д16-12/18

Відділ реалізації.
Тел./факс: (0542) 65-75-85. Тел.: (067) 542-08-01.
E-mail: info@book.sumy.ua

ТОВ «ВТД «Університетська книга».
40009, м. Суми, вул. Д. Галицького, 27.
E-mail: publish@book.sumy.ua. www.book.sumy.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 489 від 18.06.2001

Надруковано на обладнанні ВТД «Університетська книга»
вул. Д. Галицького, 27, м. Суми, 40009, Україна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 489 від 18.06.2001