

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

На правах рукописи



ХАВИН ГЕННАДИЙ ЛЬВОВИЧ

УДК 621.91

**МОДЕЛИРОВАНИЕ, ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Специальность 05.02.08 – технология машиностроения

Диссертация

на соискание ученой степени

доктора технических наук

*Ідентичність за змістом
з першим примірником
дисертації засвідчую.
Вчений секретар
спеціалізованої вченої
ради*
30.05.2016



Научный консультант

Тимофеев Юрий Викторович

Доктор технических наук, профессор

Зудков М.В.

Харьков - 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Перечень условных обозначений	8
Введение	11
 Раздел 1 Проблемы технологии механической обработки полимерных композиционных материалов	 19
1.1 Анализ технологических операций точения и сверления полимерных композиционных материалов	 19
1.2 Функциональный анализ контактного взаимодействия инструмента и заготовки из полимерного композита	 20
1.3 Современные достижения механической обработки и анализ показателей качества обработанных поверхностей в изделиях из полимерных композиционных материалов	 26
1.4 Анализ технологических особенностей механической обработки полимерных композитов и математических методов моделирования экспериментальных данных	 31
Выводы	34
 Раздел 2 Дефекты обработки и математическое моделирование их появления при точении и сверлении полимерных композитов	 36
2.1 Общий характер появления дефектов, возникающих при сверлении и точении композитов	 38
2.2 Влияние структуры, количества наполнителя, направления обработки и геометрических параметров инструмента на появление дефектов поверхности обработки	 41
2.2.1 Влияние количества наполнителя и его укладки на качество отверстий	 41
2.2.2 Влияние направления сверления, геометрических параметров и материала инструмента на качество полученных отверстий	 46

2.3 Моделирование изменения геометрии выходного отверстия и образование трещины расслаивания при сверлении слоистых композитов	48
2.3.1 Механизм появления трещин расслаивания	50
2.3.2 Изменение геометрии выходного отверстия	57
2.4 Математическое моделирование межфазного взаимодействия слоев и адгезионная прочность соединения «матрица-наполнитель»	60
2.5 Фактор расслаивания и влияние технологических параметров обработки на его величину	65
Выводы	69
Раздел 3 Инструментальное обеспечение технологических операций	
механической обработки полимерного композита	73
3.1 Выбор типа инструмента для токарной обработки полимерного композита	73
3.2 Виды и типы спиральных сверл для обработки полимерных многослойных композитов	74
3.3 Сверла отличные по конструкции от традиционных спиральных сверл	77
3.4 Критерий затупления и изнашивание инструмента в процессе работы	82
3.4.1 Общие закономерности и характер изнашивания инструмента при сверлении полимерных композиционных материалов	82
3.4.2 Стойкость инструмента и критерии затупления	90
3.4.3 Зависимость износа инструмента от его геометрических параметров	91
3.4.4 Стойкость и зависимость износа инструмента от режимных параметров обработки	93
3.4.5 Механизм износа, влияние армирования и количества наполнителя на интенсивность износа	96

3.4.6 Изнашивание некоторых типов сверл, отличных от традиционного спирального сверла	99
Выводы.....	104
Раздел 4 Математическое моделирование основных физических закономерностей контактного разрушения при точении и сверлении полимерных композиционных материалов	106
4.1 Применение положений механики разрушения к процессу механической обработки полимерных композитов.....	106
4.2 Резание полимерных композиционных материалов как процесс зарождения, роста и движения магистральных трещин	111
4.3 Модель контактного разрушения при механической обработке полимерных композитов	121
4.3.1 Контактное взаимодействие режущего инструмента с обрабатываемым материалом	122
4.3.2 Развитие трещины разрушения	127
4.3.3 Моделирование напряженного состояния в контакте численным методом	130
4.3.4 Влияние геометрических параметров инструмента и режимов резания на процесс разрушения	134
4.3.5 Движение трещины как процесс резания	136
4.4 Математическое моделирование межслойного разрушения при сверлении композитов и связь с технологическими параметрами обработки	141
4.4.1 Энергетический критерий расслаивания и моделирование процесса роста трещины расслаивания.....	141
4.4.2 Энергетический подход к росту трещин расслаивания	147
4.5 Использование модели Hocheng-Dharan образования трещины расслоения	149
4.5.1 Математические модели разрушения расслаиванием, основанные на энергетическом подходе	149

4.5.2 Анизотропная модель с эллиптической трещиной	152
4.5.3 Сравнение моделей расслаивания и расчета критической осевой силы для различных типов спиральных сверл.....	155
4.6 Моделирование появления расслаивания при сверлении с пилотным отверстием и сверлении в подкладную плиту	160
Выводы.....	163
Раздел 5 Прогнозирование интенсивности силового воздействия и моделирование тепловых явлений при механической обработке полимерных композитов	166
5.1 Общий характер силового нагружения в контакте при точении и сверлении полимерных композиционных материалов.....	166
5.2 Моделирование изменения осевой силы и крутящего момента при сверлении отверстий в композитах	168
5.3 Влияние технологических параметров сверления на величину силовых факторов.....	175
5.4 Моделирование тепловых явлений и температурного поля в контакте инструмент-материал и влияние на него скорости резания	180
5.4.1 Моделирование температурного поля в контакте режущий инструмент-материал	182
5.4.2 Распределение тепловых потоков и моделирование температурного поля при различных скоростях резания	187
Выводы.....	191
Раздел 6 Общая стратегия назначения режимов обработки при сверлении многослойных композитов	193
6.1 Качество обработки как функция технологических параметров, влияние технологических факторов на обеспечение точности отверстий и износ инструмента	193
6.1.1 Влияние технологических параметров на величину шероховатости стенок просверленного отверстия.....	193

6.1.2 Влияние технологических параметров на размерную точность, овальность и несоосность при обработке отверстий	200
6.1.3 Влияние технологических параметров на изменение диаметра, упругое восстановление и остаточную деформацию многослойного композита после сверления	206
6.2 Назначение режимов резания исходя из величины прогнозируемых дефектов	212
6.2.1 Влияние износа инструмента на выбор режимов резания	212
6.2.2 Выбор подачи и общий алгоритм назначения технологических параметров сверления	215
6.3 Моделирование стратегии адаптивного управления процессом сверления полимерных композиционных материалов	221
Выводы.....	224
Раздел 7 Оптимизация технологического процесса и выбора технологических параметров механической обработки полимерных композиционных материалов	227
7.1 Постановка и решение задачи оптимизации величины осевой силы и крутящего момента для обеспечения показателей качества	228
7.2 Многопараметрическая оптимизация по критериям качества обработки с использованием компромиссной целевой функции. Метод глобальной оптимизации «роя частиц» и его реализация	229
7.3 Поиск оптимального решения по параметрам качества для функций заданных таблично и метод серого реляционного анализа.....	230
Выводы.....	234
Раздел 8 Решение прикладных задач моделирования технологического процесса механической обработки полимерных композиционных материалов	235
8.1 Исследование влияния геометрических параметров режущего инструмента и режимов резания на напряженно-деформированное состояние в контакте инструмент-материал	235

8.2 Исследование влияния геометрических параметров режущего инструмента и режимов резания на тепловое поле в зоне обработки	245
8.3 Исследование влияния технологических параметров сверления на износ инструмента и величину фактора расслаивания при сверлении полимерных композиционных материалов	250
8.4 Численный анализ трещины разрушения при резании композитов	257
8.5 Моделирование изнашивания инструмента при точении полимерных композиционных материалов.....	259
Выводы.....	266
Основные результаты и выводы.....	267
Список использованных источников	269
Приложение А. Инструментальное обеспечение для обработки полимерных композиционных материалов	303
Приложение Б. Зависимость компонентов напряжений в контакте инструмент-композит от геометрических характеристик и технологических параметров обработки	311
Приложение В. Модели образования межслойной трещины при сверлении слоистого пластика.....	317
Приложение Д. Эмпирические соотношения для расчета силовых характеристик процесса сверления и фактора расслаивания	325
Приложение Е. Зависимость максимальной температуры в контакте от технологических факторов	339
Приложение Ж. Математическое обеспечение для поиска оптимального решения методом «роя частиц» и серого реляционного анализа	343
Приложение З. Математическое обеспечение для автоматизированного проектирования и оптимального расчета технологических параметров и показателей качества механической обработки полимерных композиционных материалов.....	351
Приложение И. Акты внедрения результатов диссертационного исследования	357