

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Условные обозначения и сокращения	7
Введение	8
1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ	10
1.1. Система резания и виды оптимизации процесса механической обработки	10
1.1.1. Структурная оптимизация	12
1.1.2. Параметрическая оптимизация	14
1.2. Математические уравнения для аппроксимации зависимостей резания металлов	15
1.3. Критерии оптимизации	23
1.4. Примеры решения задач	26
2. ОПТИМИЗАЦИИ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ОДНОИНСТРУМЕНТНОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТОДОМ ЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ	32
2.1. Оптимизация режимных параметров точения	32
2.2. Оптимизация режимных параметров сверления	36
2.3. Оптимизация режимных параметров фрезерования	37
2.4. Оптимизация режимных параметров круглого наружного шлифования	39
2.5. Примеры решения задач	41
3. ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИ ОДНОИНСТРУМЕНТНОЙ ОБРАБОТКЕ	50
3.1. Свойства функций одной переменной	50
3.2. Минимизация штучного времени по скорости резания	52
3.3. Минимизация себестоимости по скорости резания	54
3.3.1. Переменная часть себестоимости как функция скорости резания	54
3.3.2. Метод квадратичной аппроксимации	56
3.3.3. Метод Ньютона	57
3.4. Примеры решения задач	59
4. МЕТОДЫ НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ И МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРИ ОДНОИНСТРУМЕНТНОЙ ОБРАБОТКЕ	69
4.1. Функции многих переменных. Условия экстремума	69
4.2. Линии уровня целевых функций	71

4.3. Минимизация себестоимости обработки как общая задача нелинейного программирования	75
4.4. Нелинейная оптимизация режимных параметров обработки методом штрафной функции	80
4.4.1. Метод градиентного спуска	82
4.4.2. Метод Ньютона	82
4.5. Аддитивный критерий оптимизации	86
4.6. Примеры решения задач	89
5. ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ МНОГОИНСТРУМЕНТНОЙ ОБРАБОТКЕ	95
5.1. Однопозиционная последовательная обработка	95
5.2. Однопозиционная параллельная обработка резцом и сверлом	101
5.3. Однопозиционная параллельная обработка ступенчатого вала	103
5.4. Оптимизация режимных параметров на продольно-фрезерном станке	107
5.5. Оптимизация режимных параметров на многошпиндельной головке агрегатного станка	113
5.6. Оптимизация режимных параметров на агрегатном станке с ЧПУ	118
5.7. Примеры решения задач	121
Заключение	132
Вопросы для самоподготовки	133
Приложение	136
Список литературы	137

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебник разработан в обеспечение программы учебной дисциплины «Оптимизация механической обработки» в соответствии с Самостоятельно устанавливаемым образовательным стандартом (СУОС) МГТУ им. Н. Э. Баумана, основной профессиональной образовательной программой по направлению подготовки для специалистов 15.05.01_02 «Проектирование технологических машин и комплексов» — «Проектирование механообрабатывающих и инструментальных комплексов в машиностроении», а также для магистрантов по направлению подготовки 15.04.02_04 «Технологические машины и оборудование» — «Процессы и технологии механической и физико-технической обработки», и аспирантов по научным специальностям 05.02.07, 05.02.08 и направлению подготовки 15.06.01_06 «Машиностроение» — «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

Целью изучения дисциплины является подготовка специалистов, способных на основании передовых научно-технических достижений в области обработки материалов резанием сформулировать и реализовать оптимальные решения по выбору условий и режимов механической обработки.

По результатам обучения студенты *должны*:

- помнить основные степенные зависимости, характеризующие связь режимных переменных с выходными показателями процесса резания — стойкостью, силами, шероховатостью обработанной поверхности — для основных видов механической обработки резанием;
- понимать основные методические и теоретические методы расчета режимных параметров механической обработки, методы оптимизации и методы математического программирования;
- применять способы расчета режимных параметров по операциям механической обработки и методы линейной и нелинейной параметрической оптимизации режимных параметров;
- анализировать показатели эффективности и критерии оптимизации механической обработки;
- проводить оценку результатов параметрической оптимизации и соответствия выбранным критериям;
- создавать пользовательские программы для решения задач оптимизации.

Освоение учебника и изучение соответствующей дисциплины предполагает предварительное освоение следующих дисциплин учебного плана: математический анализ; основы технологии машиностроения; основы теории резания; проектирование операций механической обработки; основы проектирования режущих инструментов.

Полученные знания студенты и магистранты могут применять при подготовке технологической и научной части выпускной квалификационной работы.

В методическом плане учебник служит основным источником для освоения курса лекций, выполнения домашних заданий и проведения семинарских занятий. Для решения оптимизационных задач студентам рекомендовано использовать программирование на алгоритмическом языке высокого уровня, в частности, *Delphi*, входящее в учебную программу университета. Целесообразно факультативно освоить основы программирования в среде MATLAB, имеющей целый ряд специальных функций для решения матричных уравнений, нелинейных уравнений и систем, и оптимизации.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- v — скорость резания, м/мин
 T — стойкость инструмента, мин
 t — глубина резания, мм
 s — подача, мм/об
 s_z — подача на зуб инструмента, мм/зуб
 s_m — минутная подача, скорость подачи, мм/мин
 P_z — главная (тангенциальная) составляющая силы резания, Н
 Ra — параметр шероховатости, мкм
 h_z — износ по задней поверхности инструмента, мм
 d — диаметр обработки, диаметр инструмента, мм
 P_o — осевая составляющая силы резания, Н
 M — крутящий момент резания, Нм
 B — ширина фрезерования, мм
 z — число зубьев инструмента, шт.
 n — частота вращения шпинделя, об/мин
 F_c — площадь сечения срезаемого слоя, мм²
 a — толщина сечения срезаемого слоя, мм
 b — ширина сечения срезаемого слоя, мм
 C_τ — коэффициент, отражающий влияние вспомогательного времени
 K_T — число деталей, обработанных за период стойкости, шт.
 t_{st} — штучное время, мин
 C — переменная часть себестоимости обработки детали, руб./шт.
 E — минутная стоимость работы станка, руб./мин
 E_c — минутная тарифная ставка станочника, руб./мин
 K — стоимость станка, руб.
 C_e — стоимость электроэнергии, руб./кВт·ч
 N — мощность резания, кВт
 E_u — затраты на инструмент за период стойкости, руб.
 m — количество вершин СМП, число переточек инструмента
 C_{dn} — стоимость державки инструмента, руб.
 C_{pn} — стоимость СМП, руб.
 E_p — энергопотребление, кДж
 t_{stk} — штучно-калькуляционное время, мин
 t_o — основное время, мин
 T_{cm} — время на замену инструмента, мин
 l — длина обработки, мм

ВВЕДЕНИЕ

Отличительной особенностью современного этапа развития машиностроительных производств является необходимость широкого применения так называемых высоких технологий. В основе таких технологий по крайней мере в краткосрочной и среднесрочной перспективе будут находиться процессы механической обработки. Механическая обработка резанием включает широко применяемые виды: точение, растачивание, сверление, фрезерование, протягивание, шлифование и др. В свою очередь технологический режим является основной характеристикой операции механической обработки и определяет совокупность параметров технологического процесса в определенном интервале времени. Чаще всего режимными параметрами лезвийной обработки являются: глубина резания, подача, скорость резания, частота вращения шпинделя, которые могут иметь как постоянные, так и переменные значения по переходам. Выбору или расчету режимных параметров лезвийной обработки посвящено большое количество учебной литературы. Вместе с тем вопросы оптимизации этих параметров изложены в основном в научной специальной литературе.

Понятие *оптимума* (лат. optimum — наилучшее) включает совокупность наиболее благоприятных условий. Тогда *оптимизация* — процесс выбора наилучшего варианта из совокупности возможных, или наилучший вариант решения задачи, или путь достижения цели при данных условиях и ресурсах, или процесс приведения системы в наилучшее состояние. *Техническая оптимизационная задача*, как правило, является экономико-математической, содержащей количественные критерии оптимальности и ограничения, выраженные математическими уравнениями в той или иной форме. Результатом решения задачи являются оптимальные значения режимных параметров, обеспечивающие повышение эффективности операций механической обработки.

Пусть скалярная функция $f(x)$ определена на множестве $x \in X$, где множество X принадлежит некоторому метрическому пространству. Когда множество выделяется из пространства системой ограничений типа равенств и/или неравенств, и решается задача $f(x) \rightarrow \min$, то говорят об условной минимизации и задачу называют задачей на условный экстремум или задачей *математического программирования*.

Задачи математического программирования по виду функции разбиваются на следующие классы:

- функция линейная и ограничения линейные — задача *линейного программирования*;

• функция нелинейная и/или ограничения нелинейные (или ограничения нелинейные, а функция линейная) — задача *нелинейного программирования*.

Все перечисленные задачи называют задачами оптимизации.

Отдельный класс оптимизационных задач представляют задачи *оптимального управления*, для решения которых используют вариационные методы, принцип максимума, методы динамического программирования.

Оптимизационная задача называется *детерминированной* в том случае, если погрешностями вычисления или экспериментального определения значений функции можно пренебречь. В противном случае оптимизационная задача называется *стохастической*. Для этого класса задач разработаны специальные методы.

В учебнике рассмотрены теоретические вопросы и детерминированные задачи параметрической оптимизации режимных параметров механической обработки методами линейного и нелинейного программирования.

В МГТУ им. Н. Э. Баумана автором сформирован и читается учебный курс «Оптимизация механической обработки» для студентов и магистрантов кафедры «Инструментальная техника и технологии». Учебник дополняет и расширяет ранее опубликованные автором учебные пособия в этой предметной области [1, 2]. Учебник будет полезным для студентов при подготовке к лекциям и семинарским занятиям, а также для магистрантов, аспирантов и научных сотрудников, занимающихся научными исследованиями в области механической обработки резанием.

1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ

1.1. СИСТЕМА РЕЗАНИЯ И ВИДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Базовым понятием математического моделирования является понятие *системы*, которое в широком смысле является эквивалентом понятия *математической модели*. *Систéма* (др.-греч. σύστημα — целое, составленное из частей; соединение) — множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определённую целостность, единство (Большой Российский энциклопедический словарь. М. : БРЭ, 2003. С. 1437).

В общем виде *система* — это объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений, а также знаний о природе и обществе. Такому представлению о системе соответствуют атрибуты (свойства):

- *целостность* означает, что система отделена от внешней среды, которая может оказывать на нее действие через входы и воспринимать отклик на эти действия через выходы;

- *структурированность* означает, что система разделена внутри на несколько подсистем, связанных и взаимодействующих между собой так же, как целая система взаимодействует с внешней средой;

- *целенаправленность* требует задания цели, достижение которой свидетельствует о правильном функционировании системы.

Указанным атрибутам полностью соответствует *система резания*, которая является частью более общей *технической* (технологической) системы, имеет сложную структуру, характеризуется взаимодействием большого количества сильнодействующих факторов и целью функционирования которой является достижение заданных показателей эффективности (критериев).

Таким образом, к системе резания в полной мере относится понятие технической системы как разновидности общего понятия системы, и применимы методы и алгоритмы системного подхода. Это понятие носит обобщающий характер и применимо, например, собственно для системы резания (рис. 1.1а), а также можно трактовать как систему любой преобразователь входных данных в выходные, что структурно соответствует решению задачи по оптимизации ре-

жимных параметров механической обработки. Вместе с тем системой можно назвать процесс решения задачи по оптимизации режимных параметров (рис. 1.1б) и сама операция обработки резанием является сложной технической системой (рис. 1.1в).

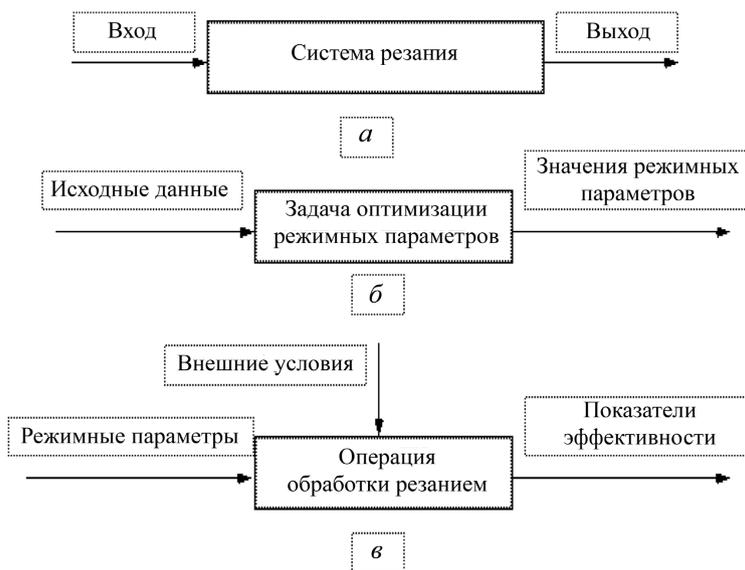


Рис. 1.1

Примеры технических систем:

- а* — система резания; *б* — оптимизационная задача;
в — операция обработки резанием.

Такой подход к системе подчеркивает ее целенаправленность и ведет свое происхождение от исследования операций — научной дисциплины, которая занимается разработкой количественных методов принятия решений. Операция соответствует некоторой системе. Входами здесь являются элементы принимаемого решения о проводимой операции, выходами — результаты — показатели эффективности.

Система называется функциональной (определенной), если каждой входной функции соответствует единственная выходная функция. В противном случае система называется неопределенной. Неопределенность возникает из-за неполноты информации о внешних условиях работы системы.

С оптимизационной задачей связан определенный набор исходных данных, которые делятся на параметры и переменные. Параметры можно считать постоянными за время процесса резания (геометрические размеры заготовки и инструмента, свойства обрабатываемого и инструментального материала). Переменные могут изменять свои значения, например, припуск по переходам, угол в плане инструмента при обработке сферической поверхности. С этой точки зрения выходные (расчетные) значения режимных параметров можно трак-

товать как переменные, если учтено влияние изменяющихся условий обработки, например такого существенного фактора, как износ инструмента.

Таким образом, различие между параметрами и переменными условно, а их совокупность определяет количественную информацию о системе. Оставшаяся информация является качественной и определяет структуру системы. Отсюда оптимизация операции обработки резанием включает *структурную* и *параметрическую* [3].

1.1.1. СТРУКТУРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ

Задачу *структурной оптимизации* можно сформулировать как задачу выбора наилучшей структуры технологического процесса, т. е. обеспечить оптимальный выбор оборудования, оснастки, приспособлений, инструментов, последовательности переходов и проходов. Решение задачи структурной оптимизации обычно выполняется методом перебора для обеспечения заданного критерия.

При структурной оптимизации технологического процесса целесообразно выделить его организационные элементарные части — операции, позиции, переходы [3]. При этом имеет место три уровня структурной оптимизации. С первым уровнем связан выбор оборудования, со вторым — выбор приспособлений, с третьим — инструментов. Процедура структурной оптимизации состоит из последовательного решения на каждом уровне по выбору возможных операций, затем оптимального числа и вида позиций для каждой операции, затем оптимального числа и вида переходов для каждой позиции. Выбор оптимальных решений на этих уровнях выполняется на основе своих критериев эффективности.

Таким образом, *содержанием* структурной оптимизации являются *задачи выбора*: вида заготовки; стадий, этапов и маршрута обработки; припуска на обработку; структуры и содержания операции; станочного оборудования; системы станочных приспособлений (средств технологического оснащения); режущих инструментов, многоинструментной наладки; вспомогательного инструмента, мерительного инструмента; смазочно-охлаждающей жидкости или технологической среды.

Выбор *вида заготовки* и методов ее получения включает вопросы: выбора возможных видов заготовки по материалу детали; выбора возможных методов, исходя из серийности, формы, массы и размеров детали; определения технических характеристик для выбранных видов заготовок; расчета себестоимости заготовки для выбранных методов ее изготовления; определения стоимости затрат на механическую обработку для выбранных видов заготовок; определения стоимости отходов металла; выбора оптимального метода изготовления заготовки для конкретных условий производства.

Под *стадией* понимается максимально укрупненная группа операций, включающая однородную по характеру, точности и качеству обработку различных поверхностей и детали в целом. В качестве стадий могут быть использова-

ны: обдирочная, черновая, чистовая, отделочная, доводочная. Этап обработки является частью стадии и представляет группу однородных операций, характеризующихся определенной точностью, качеством механической обработки или видом немеханической обработки.

Определение *припусков на обработку* и допусков на промежуточные операционные размеры имеет важное технико-экономическое значение. Завышенные припуски ведут к перерасходу материала, увеличению трудоемкости и себестоимости обработки и перерасходу электроэнергии. Заниженные припуски ухудшают качество обработки, так как не позволяют полностью удалить дефектный слой, затрудняют достижение требуемой точности и качества обработки.

Общим припуском является слой металла, необходимый для выполнения всей совокупности технологических переходов, всего процесса обработки элементарной поверхности. В качестве элементарных поверхностей рассматриваются наружные, внутренние поверхности вращения и плоские поверхности. Общий припуск для элементарной поверхности равен сумме операционных припусков. Для определения операционных припусков используют различные методы.

По дифференциально-аналитическому методу минимальный припуск на обработку на i -й операции можно представить в виде:

$$Z_i = k(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \bar{\rho}_{i-1} + \bar{\epsilon}_i),$$

где учтены полученные на предшествующей операции Rz , T , $\bar{\rho}$ — высота шероховатости, глубина дефектного слоя, векторная сумма пространственных отклонений взаимосвязанных поверхностей; $\bar{\epsilon}$ — векторная сумма погрешностей базирования и закрепления на рассматриваемой операции; k — коэффициент, учитывает характер припуска.

Более удобным с точки зрения формализации является интегрально-аналитический метод определения припусков по эмпирическим зависимостям вида:

$$Z_i = a + bd^m + cl^n,$$

где коэффициент a представляет собой часть припуска, которую необходимо снять, чтобы удалить дефектный слой и микронеровности в зависимости от вида заготовки. Сумма $bd^m + cl^n$ вводится для компенсации неравномерности из-за пространственных отклонений поверхности, и которая зависит от диаметра и длины заготовки d , l . Эмпирические зависимости для расчета операционных припусков для элементарных поверхностей, типовых методов получения заготовки и характерных операций механической обработки приведены в монографии [3].

Выбор технологических операций и применяемое оборудование существенно влияют на трудоемкость обработки и связанную с ней технологическую себестоимость. Себестоимость обычно используется в качестве критерия для выбора варианта операций технологического процесса. Она может определяться уточненным способом, который базируется на расчете величины расходов по каждому элементу себестоимости операции.

На стадии эскизного проектирования себестоимость может определяться на основании укрупненных затрат, приходящихся на час работы оборудования: $C_i = c_i t_{stki}$, где c_i — норматив приведенных затрат на 1 ч работы оборудования, занятого при выполнении i -й операции. Штучно-калькуляционное время также определяется укрупненно с учетом коэффициента закрепления операций по типу производства, массы и конструктивной сложности детали.

Показателями (критериями) эффективности могут быть: затраты на подготовку производства; количество операций и установок; количество специальных средств технологического оснащения; количество единиц оборудования; количество специальных режущих, вспомогательных, мерительных инструментов; процентное количество программной обработки к общему числу операций; количество задействованных станочников и др.

Комплексными критериями структурной оптимизации могут являться общие приведенные затраты на каждый вариант технологического процесса или суммарная трудоемкость обработки детали по всем операциям.

1.1.2. ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ

Параметрическая оптимизация обеспечивает оптимальные значения режимных (управляемых) параметров (переменных) и с организационной точки зрения подразделяется на внутреннюю и внешнюю. *Внутренняя* параметрическая оптимизация реализуется в адаптивных системах управления с обратной связью, когда режимные параметры корректируются в реальном времени на основе диагностики процесса резания и изнашивания инструмента. *Внешняя* параметрическая оптимизация, используя системный подход и математическое моделирование как методологию, расчетным путем определяет оптимальные значения режимных параметров, реализуемые через систему управления станком, и обеспечивает заданный количественный показатель эффективности (критерий).

Таким образом, *системный анализ* в рассматриваемой предметной области есть методология формализации и решения оптимизационных задач, в частности по расчету режимных параметров лезвийной обработки. Системный анализ обобщает приемы и методики решения этих задач и разделяет его на *этапы*:

- выделение процесса резания на операции из общей технологической системы, анализ исходных данных, характеризующих станок, инструмент, заготовку, требования по точности и качеству обработки;
- разработка математических уравнений, характеризующих процесс резания, по результатам экспериментальных исследований или моделирования, и их анализ, или заимствование математических уравнений из литературных источников;
- математическая формулировка цели и критериев оптимизации в виде *целевой функции и ограничений*;

- выбор методов оптимизации;
- алгоритмизация, программирование, расчет;
- обобщение результатов и анализ оптимальных режимов, если цель достигнута, или декомпозиция системы, корректировка исходных данных и ограничений и возврат к начальному этапу в противном случае.

Указанные этапы системного анализа подтверждают, что к системе резания следует применять понятие *сложной системы*, которое трактуется так, что в модели, которая ее описывает, недостаточно информации для эффективного управления этой системой. Отсюда вытекают *задачи* по уточнению модели, включению в нее недостающей информации для эффективного управления процессом резания:

- замена табличных данных, эмпирических и производственных наблюдений математическими уравнениями, характеризующими процесс резания для широкой номенклатуры обрабатываемых и инструментальных материалов, и для современных конструкций режущих инструментов;
- разработка методов математического моделирования для разработки математических уравнений и уточнения модели процесса резания;
- адаптация и применение методов математического программирования для задач параметрической оптимизации механической обработки.

1.2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ АППРОКСИМАЦИИ ЗАВИСИМОСТЕЙ РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ

Как следует из приведенной структуры системного анализа, математическое моделирование занимает в нем одно из центральных мест.

К математическим моделям и уравнениям предъявляют следующие основные требования [4]:

- универсальности (характерным примером являются степенные уравнения для различных видов механической обработки резанием);
- точности (оценивается степенью совпадения значений выходных параметров реального объекта и значений тех же параметров, рассчитанных с помощью модели);
- адекватности (способность модели отражать заданные свойства объекта с погрешностью, не выше заданной, и соответствовать определенным статистическим критериям);
- экономичности (характеризуется затратами вычислительных ресурсов на анализ и реализацию);
- алгоритмизируемости (возможность разработки вычислительных алгоритмов и программ для анализа модели на ЭВМ);
- наглядности (удобное визуальное восприятие модели) и др.

Для описания закономерностей процесса резания металлов используют аналитические математические модели в виде степенных, показательно-степенных и полиномиальных уравнений.

Степенные уравнения традиционно применяют для расчета параметров: скорости резания v , м/мин; силы P , Н; крутящего момента M , Нм; шероховатости обработанной поверхности Ra , Rz , мкм; мощности N , кВт. Можно привести примеры этих уравнений в отечественной справочной и учебной литературе [5–8] для различных видов механической обработки резанием.

Для *точения* степенные уравнения скорости резания, тангенциальной составляющей силы, шероховатости представлены в общем виде:

$$v = \frac{C_v K_v}{T^{m_v} t^{x_v} s^{y_v}}, \quad P_z = C_p t^{x_p} s^{y_p} K_p / v^{n_p}, \quad Ra = \frac{C_R s^{y_R} t^{x_R}}{v^{n_R}} (1 + K_h h_z), \quad (1.1)$$

где T — стойкость инструмента, мин; t — глубина резания, мм; s — подача, мм/об; C , K — постоянные и поправочные коэффициенты; h_z — величина износа инструмента по задней поверхности, мм.

Постоянные, показатели степеней и коэффициенты в уравнениях скорости и силы резания (1.2) для условий точения резцом из твердого сплава марки ВК6М заготовки из коррозионностойкой стали марки 12Х18Н10Т и титанового сплава марки ВТ3-1 заимствованы из справочника [5] и приведены в таблице 1.1. Для уравнения шероховатости значения постоянной, показателей степеней и коэффициента получены автором по результатам обработки экспериментальных данных и приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.1

Параметры для расчета скорости и силы резания по уравнениям (1.1)

Подача s , мм/об	C_v	m_v	x_v	y_v	K_v	C_p	x_p	y_p	n_p	K_p
Сталь марки 12Х18Н10Т										
$\leq 0,2$	240	0,25	0,15	0,15	1	3400	0,95	0,75	0,15	1
$> 0,2$	150			0,45						
Титановый сплав марки ВТ3-1										
$> 0,06$	125	0,35	0,2	0,4	1	2100	0,9	0,75	0,1	1

Примечание. Коэффициент K_v принимается для твердых сплавов марок ВК3М, ВК6-ОМ, ВК8 равным 1,25; 1,25; 0,8 соответственно.

Таблица 1.2

Параметры для расчета шероховатости по уравнению (1.1)

Обрабатываемый материал	C_R	x_R	y_R	n_R	K_h
Алюминиевый сплав, сталь	29,5	0,338	1,253	0,25	0,96
Титановый сплав	18,85	0	1,076	0,15	0,96

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru