Таким образом, проведенные расчеты на прочность всех ответственных и уязвимых узлов и элементов поворотного стола трансферного станка подтверждают целесообразность модернизации без применения более качественных материалов и, следовательно, без увеличения расходов на производство.

1. Решетов, Д.Н. Машиностроение. Энциклопедия. Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка. Т. IV-1. / Д.Н. Решетов, А.П. Гусенков, Ю.Н. Дроздов и др. - М.: Машиностроение, 1995. - 846 с.
2. Биргер, И.А. Расчет на прочность деталей машин. Справочник. / И.А. Биргер, Б.Ф. Шор, Г.Б. Иосилевич. - М.: Машиностроение, 1979. - 702с.

Пахомов Д.С., Шатагин Д.А., Трухин А.В.

Выбор оптимального варианта достижения необходимых параметров качества поверхности при обработке деталей типа тел вращения (часть 1)

Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е.

Алексеева

(Россия, Нижний Новгород)

doi: 10.18411/lj-07-2020-29

idsp: ljjournal-07-2020-29

Аннотация

В современных системах автоматизированного проектирования технологических процессов не решены вопросы оптимизации при выборе видов, методов, условий и параметров обработки для обеспечения заданных параметров качества поверхностей деталей машин.

Методы, количество видов и параметры обработки не равнозначны по производительности и затратам, поэтому их оптимальный выбор может существенно сократить затраты на обработку деталей.

Для решения данной задачи

— собрана и представлена структурированная теоретическая информация, охватывающая различные методы обработки для достижения параметров качества поверхностей;

— разработан укрупненный алгоритм выбора путей решения достижения необходимой точности и качества поверхности на стадии подготовки производства;

— разработан подробный алгоритм обеспечения оптимального выбора методов и параметров обработки для достижения заданного высотного параметра шероховатости, который в дальнейшем может быть использован в программах САПР ТП с возможностью самообучения для различных условий и параметров обработки;

— проведены исследования для составления практических эмпирических зависимостей для различных методов обработки;

— проведенные исследования показали, что разработанный алгоритм может быть использован в реальных условиях;

— разработано программно-аппаратное обеспечение для реализации разработанного алгоритма с возможностью самообучения для различных условий и параметров обработки;

— показана возможность использования методов машинного обучения (искусственных нейронных сетей) и облачных технологий для управления качеством обрабатываемых поверхностей в условиях цифрового производства.

Использование результатов данной работы в системах автоматизированного проектирования технологических процессов даст возможность технологу для выбора наиболее оптимального пути достижения необходимых параметров качества поверхностей.

Показано, что для обеспечения заданного высотного параметра шероховатости, необходимо постоянное уточнение математических моделей с учетом специфики обработки детали для выбора оптимальных методов, параметров и условий обработки. Для этого возможно применение новых подходов, например, методов машинного обучения, позволяющих реализовывать постоянный сбор новых данных для уточнения существующих моделей.

Ключевые слова: качество поверхности, выбор методов обработки, параметры и условия обработки, алгоритм, программа.

Abstract

In modern computer-aided design systems for technological processes, optimization issues are not resolved when choosing types, methods, conditions and processing parameters to ensure the specified quality parameters of the surfaces of machine parts.

Methods, the number of types and processing parameters are not equivalent in terms of productivity and costs - therefore, their optimal choice can significantly reduce the cost of processing parts.

To solve this problem

- collected and structured presented theoretical information covering various processing methods to achieve surface quality parameters;
- an enlarged algorithm has been developed for choosing solutions to achieve the necessary accuracy and surface quality at the stage of production preparation;
- a detailed algorithm has been developed to ensure the optimal choice of processing methods and parameters to achieve a given height roughness parameter, which can be further used in CAD software with the possibility of self-learning for various processing conditions and parameters;
- studies were conducted to compile practical empirical dependencies for various processing methods;
- studies have shown that the developed algorithm can be used in real conditions;
- developed hardware and software for implementing the developed algorithm with the possibility of self-learning for various processing conditions and parameters;
- the possibility of using machine learning methods (artificial neural networks) and cloud technologies to control the quality of the processed surfaces in digital production is shown.

Using the results of this work in computer-aided design of technological processes will enable the technologist to select the most optimal way to achieve the required surface quality parameters.

It is shown that to ensure a given altitude roughness parameter, it is necessary to constantly refine mathematical models taking into account the specifics of processing a part to select optimal methods, parameters and processing conditions. To this end, it is possible to apply new approaches such as machine learning methods, which allow the continuous collection of new data to refine existing models.

Keywords: surface quality, choice of processing methods, parameters and processing conditions, algorithm, program.

Введение

В современных системах автоматизированного проектирования технологических процессов деталей машин [1], [2], [3], [4] до конца не решены вопросы оптимизации и подбора необходимых рекомендаций для выбора количества видов, методов, условий и параметров обработки для обеспечения заданных параметров качества поверхностей деталей машин.

Параметры качества поверхностей могут достигаться различными методами, видами и параметрами обработки и не равнозначны по производительности и затратам. Поэтому выбор оптимального варианта методов, количества видов и параметров обработки для достижения заданных параметров качества поверхностей может существенно сократить затраты на обработку деталей. Для чего современные САПР ТП должны обладать соответствующими модулями для решения данных задач [5].

Цель настоящего исследования – разработка методики, алгоритма и программы для выбора оптимального варианта достижения заданного чертежом высотного параметра качества поверхности на стадии подготовки производства, что позволит сократить время технологической подготовки производства и обработки детали в целом. Программа должна иметь возможность самообучения и адаптации для возможных сочетаний обрабатываемых и инструментальных материалов, а также для разнообразных условий обработки при использовании различных методов обработки поверхностей и может использоваться для создания цифровых двойников.

Постановка задачи в виде укрупненного алгоритма

Для выявления задач, возникающих при проектировании технологических процессов с точки зрения достижения определенных параметров качества каждой элементарной поверхности, был разработан укрупненный алгоритм (рис. 1 где: Тф – допуск формы; Т – допуск размера; ТО – термическая обработка; ХТО – химико-термическая обработка; ППД – поверхностное пластическое деформирование; НВ и HRC – твердость).

Данный алгоритм показывает разнообразие задач, которые необходимо решить при проектировании технологических процессов обработки деталей машин для обеспечения необходимого качества и точности каждой элементарной поверхности, и последовательность выполняемых действий.

Для достижения определенной точности и качества каждой элементарной поверхности необходимо выполнять определенное количество видов обработки. Количество видов обработки для каждой элементарной поверхности зависит от точности и качества, заданных в чертеже.

Рис. 1. Алгоритм решения задач обеспечения качества и точности поверхностей.

На основании анализа действующих технологических процессов на промышленных предприятиях были выделены следующие виды обработки (см., например, «Основы проектирования технологических процессов на станках с ЧПУ» : учебник / Д. С. Пахомов, А. Г., Схиртладзе, А. Б. Чуваков. Старый Оскол : ТНТ, 2016. 392 с.), представленные в табл. 1.

Таблица 1.

Определение количества видов обработки и точности оборудования в зависимости от точности и качества элементарной поверхности.

Вид обработки поверхности	Квалитет	Точность оборудования (отечественного)
Черновой	12-й и грубее	Нормальная
Получистовой	11-й	Нормальная
Чистовой	9-й – 10-й	Нормальная
Повышенной точности	7-й – 8-й	Повышенная
Высокой точности	6-й	Высокая
Особо высокой точности	5-й и точнее	Особо высокая
Отделочный	Для формирования параметров качества поверхности	Любая

Отделочный вид обработки необходим для формирования только показателя качества поверхности без изменения точности поверхности (реально точность данной поверхности может улучшаться при выполнении отделочного вида обработки, но требования, указанные на чертеже детали, этого не предусматривают, то есть когда необходимо обеспечить $Ra \gg T$). Отделочные виды обработки могут выполняться после любого из приведенных в табл. 1 видов обработки. Количество видов обработки определяется заданными параметрами качества поверхности. Например, для наружной цилиндрической поверхности 14-го квалитета, для получения на данной поверхности параметра шероховатости $Ra 0,63$ может быть выполнен один черновой вид обработки и один или несколько отделочных видов обработки, которые могут быть реализованы посредством разных методов и параметров обработки. Для решения всех задач, представленных в алгоритме (см. рис. 1), необходимо разработать большое количество алгоритмов и очень объемное программное обеспечение, а также выполнить большое количество различных исследований.

Алгоритм для достижения необходимого высотного параметра шероховатости

В рамках данного исследования подробно рассмотрена только одна из задач, для которой разработан алгоритм, представленный на рис. 2 (реализованный, в частности, в диссертация магистра (рук. Д. С. Пахомов). Милютин Ю. С. Выбор оптимального варианта достижения необходимых параметров качества поверхности. Н. Новгород, НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2017, 116 с.).

Рис. 2. Алгоритм оптимизации пути достижения необходимого высотного параметра шероховатости поверхности на стадии подготовки производства.

Для данной задачи высотный параметр шероховатости поверхности задается конструктором точнее, чем для нормальной относительной геометрической точности поверхности, т. е. когда $Ra \gg T$.

В рамках данного исследования рассматриваются вопросы достижения заданного чертежом высотного параметра шероховатости только при обработке наружных цилиндрических поверхностей с целью выбора конкретного метода отделочного вида обработки. Для решения этой более узкой задачи был разработан более детальный алгоритм решения, в котором для выбора метода отделочного вида обработки рассмотрены: точение, накатывание шариком, шлифование, суперфиниширование, доводка и др.

Для каждого из рассматриваемых методов были сформированы базы данных с использованием теоретических зависимостей приведенных в [6]. Например, теоретические зависимости для точения и накатывания шариком, отражающие взаимосвязь высотного параметра шероховатости поверхности детали с условиями обработки, приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2.

Уравнение для определения высотного параметра шероховатости детали от конкретных условий обработки при точении.

Метод обработки	Уравнение	Условия
Точение	$Ra = k_0 \cdot \frac{s^{k_1}(90 + \gamma)^{k_4}}{v^{k_3} r^{k_2}}$	$v=50 \dots 160$ м/мин; $t=0,5 \dots 2$ мм; $s=0,05 \dots 0,43$ мм/об; $\gamma=4 \dots 40^\circ$; $r=0,4 \dots 2$ мм

Значение коэффициентов в уравнении для стали 45:

k_0	k_1	k_2	k_3	k_4
7,0	0,85	0,65	0,36	0,15

Таблица 3

Уравнение для определения высотного параметра шероховатости детали при накатывании.

Метод обработки	Уравнения	Условия
Накатывание шариком	$Ra = Rz_{исх}^{0,95} \left(\frac{\sigma_{max}}{10} \right)^{-0,24} d^{-0,13} s^{0,14} v^{0,04}$	Максимальное напряжение на контакте $\sigma_{max}=5000 \dots 9000$ МПа; $d=5 \dots 10$ мм; $s=0,03 \dots 0,11$ мм/об; $v=10 \dots 70$ м/мин

Рассчитанные по данному уравнению значения высотных параметров шероховатости поверхности в зависимости от скорости резания и радиуса при вершине резца при точении представлены ниже (см. рис. 5).

Рис. 5. Графики теоретических и практических зависимостей высотного параметра шероховатости для сочетания различных параметров при точении.

Рассчитанные по данному уравнению значения высотного параметра шероховатости поверхности в зависимости от величины подачи и силы давления на шарик при накатывании представлены ниже (см. рис. 6).

Рис. 6. Графики теоретических и практических зависимостей высотного параметра шероховатости для сочетания различных параметров накатки.

1. ВЕРТИКАЛЬ - система автоматизированного проектирования технологических процессов. (Сайт компании «АСКОН», разработчика и интегратора инженерного ПО: PLM, CAD, CAM) URL: <https://ascon.ru/products/420/review> (дата обращения: 20.03.2020).
2. Программы комплекса T-FLEX PLM для технологической подготовки производства. (Сайт компании «Топ Системы», разработчика и интегратора инженерного ПО: PLM, CAD, CAM) URL: <https://www.tfex.ru/products/tehnolog> (дата обращения: 20.03.2020).
3. TECHCARD Комплекс средств автоматизации технологической подготовки производства. (Сайт компании «ИНТЕРМЕХ», разработчика и интегратора инженерного ПО: PLM, CAD, CAM) URL: <https://old.intermech.ru/techcard.htm#mark5> (дата обращения: 20.03.2020).
4. ADEM Методические материалы. (Сайт компании «ADEM», разработчика и интегратора инженерного ПО: PLM, CAD, CAM) URL: <https://adem.ru/forstudy/materials> (дата обращения: 20.03.2020).
5. Пахомов Д. С., Чуваков А. Б., Попов А. Ю. Система подготовки специалистов для современного машиностроительного производства // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2015. № 1 (65). С. 130–131.
6. Дальский А. М., Суслов А. Г., Жесткова И. Н. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Изд. 5-е, испр. М. : Машиностроение, 2003. Т. 1. 912 с.

Чернов Д.С., Матвеев А.В., Нестеров С.А., Сорокина Н.В.
Опыт разработки технологии изготовления модельной оснастки для отливок с применением CAD/CAM/CAE систем

*ФБОУ «Пензенский государственный университет»
 (Россия, Пенза)*

doi: 10.18411/lj-07-2020-30

idsp: ljjournal-07-2020-30

Аннотация

В работе описаны современные технологии использования компьютерных технологий сквозного проектирования для изготовления комплектов литейной оснастки с применением CAD/CAM/CAE систем.

Ключевые слова: проектирование, CAD/CAM/CAE системы, литейная оснастка.