

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.91.01

doi: 10.30987/2658-6436-2024-3-29-34

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРИПУСКА, УДАЛЯЕМОГО ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ, ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Денис Владимирович Юдин^{1✉}, Александр Николаевич Феофанов²

^{1,2} «МГТУ «СТАНКИН», г. Москва, Россия

¹ udindv@mail.ru

² feofanov.fan1@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема отсутствия систем для автоматизации подготовки производства при разработке технологического процесса изготовления деталей методом резания. Решение данной задачи обеспечит повышение конкурентоспособности предприятий и позволит снизить ошибки, возникающие из-за человеческого фактора. Задачами статьи являются разработка подхода к автоматизации проектирования технологических процессов за счет определения технологического процесса как функции по удалению припуска. Анализ припуска и определение принципа его декомпозиции на элементарные составляющие для классификации. Выявление параметров припуска для его формализации и определения взаимосвязи параметров припуска с методами обработки. Проведен анализ существующих методов обработки и их взаимосвязи с удаляемым припуском, его геометрической формы и параметров. Предложен подход для формализации припуска, реализация которой позволит автоматизировать технологическую подготовку производства в части разработки технологических процессов для механической обработки. Предложен подход для формализации припуска, в основе которого лежит его классификация и применение в качестве ее базового элемента «припуска, удаляемого режущим инструментом за один рабочий ход». Описаны дополнительные свойства и характеристики припуска для его математического описания и сохранения взаимосвязи с методами обработки. Формализация припуска, его классификация и задание функции по его удалению позволит автоматизировать разработку технологических процессов, повысить качество изготавливаемой продукции за счет снижения влияния человеческого фактора и применения оптимальных методов обработки деталей.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, обработка резанием, автоматизация разработки технологических процессов

Для цитирования: Юдин Д.В., Феофанов А.Н. Формализация припуска, удаляемого при обработке резанием, для решения задачи автоматизации разработки технологического процесса // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №3 (25). С. 29-34. doi: 10.30987/2658-6436-2024-3-29-34.

Original article

Open Access Article

FORMALIZING THE ALLOWANCE REMOVED DURING CUTTING TO SOLVE THE PROBLEM OF AUTOMATING THE TECHNOLOGICAL PROCESS DEVELOPMENT

Denis V. Yudin^{1✉}, Alexander N. Feofanov²

^{1,2} Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, Russia

¹ udindv@mail.ru

² feofanov.fan1@yandex.ru

Abstract. The paper considers the problem of lacking systems for automating the production preparation while developing the technological process of manufacturing parts by cutting. The solution to this problem will increase enterprises' competitiveness and reduce errors arising from the human factor. The objectives of the article are to develop an approach to automating the technological process design by defining the technological process as a function of removing the allowance. The work analyses the allowance and determines the principle of its decomposition into elementary components for classification, identifies the allowance parameters for its formalization and determines the relationship of the allowance parameters with processing methods. The authors carry out the analysis of the existing processing methods and their relationship with the removable allowance, its geometric shape and parameters, propose an approach for the allowance formalization, the implementation of which will automate the technological preparation of production in terms of developing technological processes for mechanical processing. The work suggests an approach

for formalizing the allowance, based on its classification and application as its basic element of “allowance removed by the cutting tool in one working stroke”, describes additional properties and characteristics of the allowance for its mathematical description and preservation of the relationship with the processing methods. Formalization of the allowance, its classification and assignment of the function for its removal will allow automating the technological process development, improving the quality of manufactured products by reducing the influence of the human factor and using optimal methods for processing parts.

Keywords: technological preparation of production, cutting processing, automating the technological process development

For citation: Yudin D.V., Feofanov A.N. Formalizing the Allowance Removed During Cutting to Solve the Problem of Automating the Technological Process Development. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 3 (25). pp. 29-34. doi: 10.30987/2658-6436-2024-3-29-34.

Введение

Технологический процесс (ТП) изготовления деталей в машиностроении может включать следующие виды обработки: обработка давлением; обработка резанием; термическая обработка; электрофизическая обработка; электрохимическая обработка.

Среди данных видов обработки, в условиях мелкосерийного производства ТП обработки резанием обладают наибольшим разнообразием, трудоемкостью и стоимостью [1]. Это связано с большим разнообразием обрабатываемых деталей, сложностью унификации ТП, дорогостоящими оборудованием и режущим инструментом (РИ). Стоит отметить, что в реальных производственных условиях, разработка ТП ведется на основе накопленного опыта и традиций конкретного предприятия или с использованием справочных таблиц экономической эффективности, представленных в специализированной литературе [2]. Этот процесс требует тщательного анализа большого объема данных, что может привести к ошибкам и различным интерпретациям. Качество работы зависит от квалификации и опыта специалиста.

Повышению производительности труда, способствует автоматизация подготовки производства и разработки ТП [3, 10]. Автоматизация может повысить скорость и качество разработки ТП, способствует применению наиболее рациональных методов обработки, уменьшению ошибок за счет исключения влияния человеческого фактора и снижению издержек при унификации ТП [4].

Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) ТП позволяют оптимизировать работу и решить множество рутинных задач, которые ранее отнимали много времени у специалистов [5], но при всех существующих достоинствах САПР ТП, разработка ТП не автоматизирована.

Постановка задачи

Операции по обработке резанием заключаются в образовании новых поверхностей посредством отделения поверхностных слоев материала с образованием стружки [6]. Таким образом ТП механической обработки резанием является функцией ($F_{\text{мех.обр}}$) удаления припуска детали:

$$\text{ТП}_{\text{дет}} = F_{\text{мех.обр}}(\text{Пр}_{\text{дет}}), \quad (1)$$

где $\text{ТП}_{\text{дет}}$ – технологический процесс механической обработки резанием; $\text{Пр}_{\text{дет}}$ – припуск детали.

Задание функции (1), позволит решить задачу по автоматизации разработки ТП. Для этого потребуется выполнить два шага: формализация припуска, т.е. его математическое описание; определение взаимосвязи между припуском и методом обработки (МО), т.е. задание правил.

Проблема заключается в том, что припуск может иметь сложную геометрическую форму и большое разнообразие фигур, из-за роста номенклатуры выпускаемых приборов в современном производстве. В связи с чем припуск невозможно описать изначально ограниченным набором характеристик, а также учесть данные характеристики при выявлении закономерностей и взаимосвязей с МО.

Решением для формализации припуска является уменьшение его разнообразия и

сложности геометрической формы (ГФ), что связано с его декомпозицией на «элементарные припуска» (ЭП), позволяющие преобразовать функцию (1) в функцию:

$$TP_{дет} = F_{мех.обр}(\text{ЭП. } 1_{дет}) + F_{мех.обр}(\text{ЭП. } 2_{дет}) + F_{мех.обр}(\text{ЭП. } 3_{дет}) + \dots + F_{мех.обр}(\text{ЭП. } N_{дет}), \quad (2)$$

где ЭП. $N_{дет}$ – ЭП N припуска детали.

Условиями преобразования функции (1) в функцию (2) является: ЭП позволяют выявить взаимосвязь с МО; функция $F_{мех.обр}$ от ЭП имеет решение, которое входит в область значения функции (1).

Материалы, модели, эксперименты и методы

Удаление припуска детали происходит последовательно, при выполнении рабочих ходов (РХ), таким образом весь припуск можно разделить на припуска, удаляемые за один РХ (δ):

$$Pr_{деталь} = \sum_i^n Pr_{дет.оп.i} = \sum_i^n \sum_r^m Pr_{дет.,оп.i \text{ переход } r} = \sum_i^n \sum_r^m \sum_k^l \delta_k, \quad (3)$$

где i – номер операции; r – номер рабочего хода операции i ; k – номер рабочего хода перехода r ; δ – припуск, удаляемый за один рабочий ход.

Один РХ РИ представляет собой результирующее движение резания (РДР) в процессе механической обработки [7] и зависит от кинематической схемы станка и вида РИ. Таким образом, существует взаимосвязь между δ и МО. Следовательно, для δ условия преобразования функции (1) в функцию (2) выполнены:

$$\forall(\delta_k) \exists F_{мех.обр}(\delta_k) \in F_{мех.обр}(Pr_{дет}), \quad (4)$$

δ поддается математическому описанию с помощью ограниченного набора характеристик, т.к. его размеры зависят от параметров РИ (форма, размеры) и глубины резания, а ГФ припуска зависит от РДР. Следовательно, δ можно использовать как базовый элемент при классификации ЭП. Для того чтобы сохранить условия преобразования (4) для классифицируемых элементов и не ограничивать их размеры, необходимо наложить на ЭП следующие ограничения: для обработки ЭП достаточно одного инструмента; траектории РХ при обработке ЭП расположены на одинаковом расстоянии друг от друга.

Для определения формы ЭП проведен анализ существующих МО резанием, который показал, что ЭП можно сгруппировать в 2 группы по ГФ: цилиндрическую и призматическую (табл. 1).

Таблица 1

Анализ ГФ припуска в зависимости от метода обработки*

Table 1

*Analysis of the GF allowance depending on the processing method**

Метод обработки* / Параметр	Фрезерование	Плоское шлифование	Токарная обработка	Сверление, зенкерование, развертывание, хонингование	Шлифование (Круглое, бесцентровое, внутреннее)
Что осуществляет главное движение резания	РИ	РИ	Заготовка	РИ	РИ
Главное движение резания	Вращ-ное	Вращ-ное	Вращ-ное	Вращ-ное	Вращ-ное
Главное движение подачи	Прямол-ное	Прямол-ное	Прямол-ное	Прямол-ное	Вращ-ное + Прямол-ное
Форма припуска	призматическая	призматическая	цилиндрическая	цилиндрическая	цилиндрическая

*В таблице не учтены методы обработки для таких видов поверхностей как резьба и зубья, так как для обработки данных элементов применяют специальные инструменты и/или оборудование и существуют стандартизованные технологии их обработки

Геометрическое представление базовых вариантов ЭП представлены на рис. 1, 2:

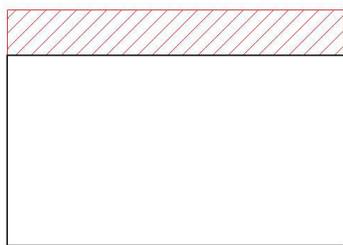


Рис. 1. Геометрическая форма призматического припуска
Fig. 1. Geometric shape of prismatic allowance

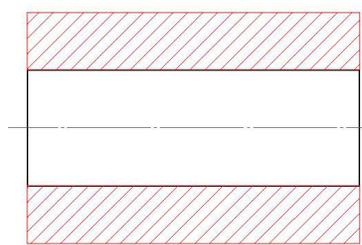
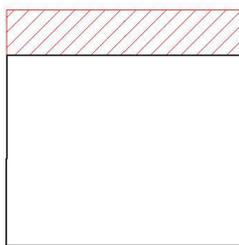


Рис. 2. Геометрическая форма цилиндрического припуска
Fig. 2. Geometric shape of cylindrical allowance

Анализируя табл. 1, можно сделать вывод, что для обработки припусков одинаковой формы могут быть применены различные МО. В связи с чем, необходимо задать дополнительные параметры [8], от которых будет зависеть конечный выбор МО. Такими параметрами являются [9]: точность обработки; твердость поверхности; шероховатость поверхности; обрабатываемый материал.

Также необходимо учесть дополнительные параметры, которые влияют на особенности при выборе РИ (вылет инструмента, форма шлифовального круга и т.п.) или на дополнительные технологические возможности металлорежущего оборудования (количество управляемых осей, наличие ЧПУ и т.п.):

– ограничения на подход инструмента, т.е. количество плоскостей припуска, граничащих с поверхностью детали. Частные случаи приведены на рис.3, 4:

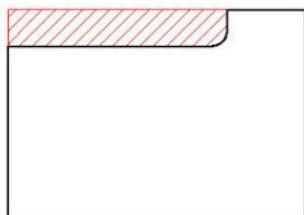


Рис. 3. Ограничение призматического припуска
Fig. 3. Limitation of prismatic allowance

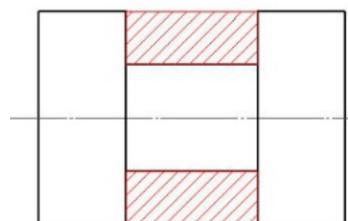
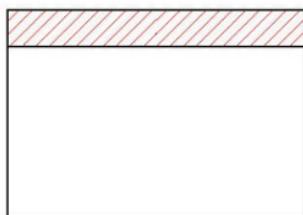


Рис. 4. Ограничение цилиндрического припуска
Fig. 4. Limitation of cylindrical allowance

– искривление плоскостей припуска, граничащих с плоскостью детали (рис. 5, 6):

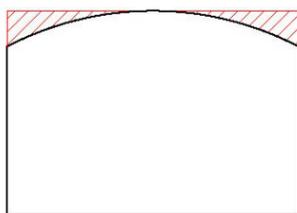


Рис. 5. Искривление плоскости призматического припуска
Fig. 5. Curvature of the prismatic allowance plane

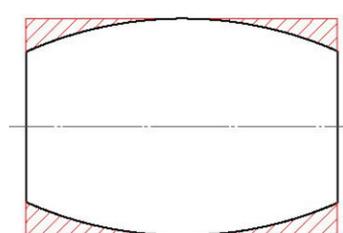
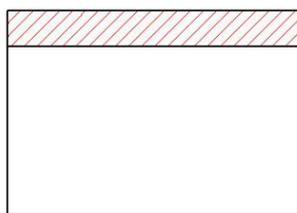


Рис. 6. Искривление плоскости цилиндрического припуска
Fig. 6. Curvature of the cylindrical allowance plane

– эксцентриситет оси симметрии припуска (для цилиндрической формы припуска), относительно оси вращения или плоскости симметрии обрабатываемой детали (рис. 7):



Рис. 7. Эксцентриситет оси вращения цилиндрического припуска
Fig. 7. Eccentricity of the rotation axis of the cylindrical allowance

– не параллельность плоскости припуска относительно оси вращения детали (для цилиндрической формы припуска) или базовой плоскости (рис. 8, 9):

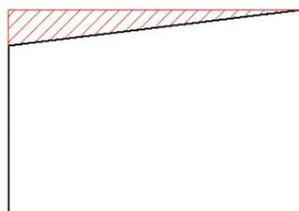


Рис. 8. Не параллельность плоскости призматического припуска

Fig. 8. Non-parallelism of the prismatic allowance plane

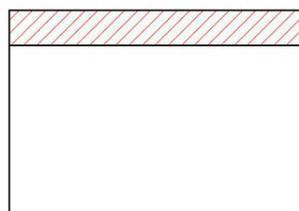


Рис. 9. Не параллельность плоскости цилиндрического припуска

Fig. 9. Non-parallelism of the cylindrical allowance plane

В данной работе представлены не все частные варианты ЭП, зависящие от дополнительных параметров, но необходимо отметить, что перечисленные параметры, легко математически описываются, т.е. формализуемы, что обеспечит решение задачи по заданию функции 2.

Заключение

Решение задачи по формализации припуска и его классификации предоставит возможность автоматизации разработки ТП. На основе классификации припусков возможна унификация ТП, РИ, оборудования и технологического оснащения, применяемого при производстве.

В данной работе для решения задачи автоматизации разработки ТП обработки резанием, предлагается использовать метод, в основе которого лежит взаимосвязь между припуском и МО. Введена функция и определены шаги для задания функции разработки ТП. Для припуска, который является аргументом, сформулированы требования по формализации. Так как припуск является сложной фигурой, которую сложно описать математически, предлагается его декомпозиция на элементарные припуска и их классификация. В качестве базового элемента, на основе которого строится классификация предлагается использовать припуск, удаляемый за один рабочий ход инструмента. Для обеспечения взаимосвязи ЭП с МО сформулированы его требуемые свойства и геометрические характеристики.

Список источников:

1. Куликов Д.Д., Яблочников Е.И., Бабанин В.С. Интеллектуальные программные комплексы для технической и технологической подготовки производства / Часть 7. Системы проектирования технологических процессов / Учебно-методическое пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 136 с.
2. Матвеев В.В., Тверской М.М., Бойков Ф.И. Размерный анализ технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.
3. Основы автоматизации машиностроительного производства / Е.Р. Ковальчук и др. / М.: Высш. шк., 1999. – 312 с.
4. Митин С.Г., Бочкарев П.Ю. Принципы создания системы автоматизированного

References:

1. Kulikov D.D., Yablochnikov E.I., Babanin V.S. Systems for Designing Technological Processes. Part 7. In: Intelligent Software Packages for Technical and Technological Preparation of Production. Saint Petersburg: ITMO University; 2011.
2. Matveev V.V., Tverskoy M.M., Boykov F.I. Dimensional Analysis of Technological Processes. Moscow: Mashinostroenie; 1982.
3. Kovalchuk ER, et al. Fundamentals of Automation of Machine Building Production. Moscow: Higher School; 1999.
4. Mitin S.G., Bochkarev P.Yu. Principles of Creating the System for Automated Design of Production

проектирования технологических операций в условиях многономенклатурного производства // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – № 2 (32-2). – С. 117-122.

5. Щербаков Н.П. Автоматизация технологического проектирования: учебное пособие – Барнаул: Издательство Алтайского государственного технологического университета им. И.И. Ползунова. – 2002. – 434 с.

6. ГОСТ Р 50995.3.1-96. Единая система технологической документации. Термины и определения основных понятий: введен в действие постановлением Госстандарта СССР от 30 июля 1982 г. N 2988: дата введения 1983-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 15 с.

7. Справочник инструментальщика / И.А. Ординарцев, Г.В. Филиппов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.

8. Юдин Д.В., Феофанов А.Н. Основные характеристики припусков, удаляемые механической обработкой со съемом металла деталей типа «тело вращения» // СМиС-2023. Технология управления качеством. Материалы Международной научно-технической конференции «СМиС-2023. Инновационные технологии в управлении качеством». – 2023. – С. 60-67.

9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / Дальский А.М., Косилова А.Г., Мещеряков Р.К., Суслов А.Г. [и др.]. – М.: Машиностроение-1, 2001. – Т.1. – 910 с.

10. Kalas S., Small-Scale Automation in Shipbuilding. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology, 201, 92 p.

11. Юрченко К.А. Зависимость эффективности деятельности предприятия от ряда характеризующих факторов // Молодой ученый. – 2012. – №2. – С. 162-165.

Operations in Multiproduct Manufacturing. Science Vector of Togliatti State University. 2015;2(32-2):117-122.

5. Shcherbakov N.P. Automation of Technological Design. Barnaul: Publishing House of Polzunov Altai State Technological University; 2002.

6. State Standard R 50995.3.1-96. Unified System for Technological Documentation. Terms and Definitions of Main Concepts. Moscow: Publishing House of Standards; 1983.

7. Ordinartsev IA, Filippov GV, Shevchenko AN, et al. Toolmaker's Handbook. Ordinartsev IA, editor, Leningrad: Mashinostroenie; Leningrad Department; 1987.

8. Yudin DV, Feofanov AN. Main Characteristics of Allowances Removed by Mechanical Treatment With Metal Removal of Parts Type of Body of Rotation. In: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference SMAC-2023 Innovative Technologies in Quality Management. SMAC-2023 Quality Management Technology: 2023. p. 60-67.

9. Dalsky AM, Kosilova AG, Meshcheryakov RK, Suslov AG, et al. Mechanical Engineers' Handbook, vol. 1. Moscow: Mashinostroenie-1; 2001.

10. Kalas S., Small-Scale Automation in Shipbuilding. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology; 2015.

11. Yurchenko K.A. Dependence of the Enterprise's Efficiency on a Number of Characterizing Factors. Young Scientist. 2012;2:162-165.

Информация об авторах:

Юдин Денис Владимирович
аспирант МГТУ «СТАНКИН»

Феофанов Александр Николаевич
доктор технических наук, профессор кафедры инженерная графика МГТУ «СТАНКИН», вице-президент академии проблем качества, отделение «Квалиметрия» МГТУ «Станкин»

Information about the authors:

Yudin Denis Vladimirovich
Postgraduate student of Moscow State University of Technology «STANKIN»

Feofanov Alexander Nikolaevich
Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Engineering Graphics of Moscow State University of Technology «STANKIN», Vice President of the Academy of Quality Problems at the Qualimetry Department of Moscow State University of Technology «STANKIN»

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.**

Статья поступила в редакцию 17.05.2024; одобрена после рецензирования 05.07.2024; принята к публикации 10.07.2024.

The article was submitted 17.05.2024; approved after reviewing 05.07.2024; accepted for publication 10.07.2024.

Рецензент – Пугачев А.А., доктор технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Pugachev A.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.